

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО»

**Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина,
Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И ОПЫТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ**

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2011

УДК 502.521
Ч582

*Работа выполнена при финансовой поддержке
аналитической ведомственной целевой программы
«Развитие научного потенциала высшей школы»
Министерства образования и науки РФ (тема 1.32.08);
программы РФФИ-Урал, грант № 10-04-96006*

Научный редактор
академик РАН В. Н. Большаков

Рецензенты:

отдел лесоведения Ботанического сада УрО РАН (заведующий
отделом доктор сельскохозяйственных наук С. Л. Меничиков);
Г. И. Таршис, доктор биологических наук, профессор

Чибрик Т. С.

Ч582 Экологические основы и опыт биологической рекультивации
нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина,
Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. — Екатеринбург : Изд-во Урал.
ун-та, 2011. — 268 с.

ISBN 978-5-7996-0609-1

Монография посвящена вопросам трансформации культурфитоценозов и методологии долгосрочного прогноза состояния фитоценозов как главного компонента формирующихся техногенных экосистем на рекультивированных территориях. Дан сравнительный анализ опыта биологической рекультивации отвалов, охарактеризована структурно-динамическая и функциональная организация сериальных фитоценозов с учетом результатов долгосрочного локального экологического мониторинга.

Для студентов, магистрантов и аспирантов биологической и экологической специализации, а также широкого круга биологов, экологов и специалистов по биологической рекультивации.

УДК 502.521

ISBN 978-5-7996-0609-1

© Чибрик Т. С., Лукина Н. В.,
Филимонова Е. И., Глазырина М. А., 2011
© Уральский государственный
университет, 2011

*Светлой памяти
доктора биологических
наук, профессора
Виталия Владиславовича
Тарчевского и 50-летию
созданной им лаборатории
посвящается*

ВВЕДЕНИЕ

Лаборатория антропогенной динамики экосистем и биологической рекультивации (до начала 1980-х гг. — хозрасчетная лаборатория промышленной ботаники) в течение пятидесяти лет занимается научными основами и прикладными задачами рекультивации нарушенных промышленностью земель, а также экспериментальными разработками в этой области.

В исследованиях, проводимых в Уральском государственном университете им. А. М. Горького по проблеме биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель, ясно выделяется два этапа. Первый этап — с 1959 г. до конца 1970-х гг. — связан с исследованиями по хозяйственным договорам с промышленными предприятиями и касался разработки способов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Эти исследования заканчивались рекомендациями, которые использовались при составлении проектов и практическом проведении биологической рекультивации. Как правило, учет конкретных экологических условий при проведении подобных исследований позволял значительно удешевить проектные и практические работы по биологической рекультивации изученных техногенных образований и даже выделить часть территории в группу площадей, не требующих биологической рекультивации. Это старые отвалы с хорошим восстановлением растительного и почвенного покровов.

Исследования проводились на Урале на следующих техногенных образованиях:

1. Нарушенные земли горнодобывающей промышленности, образованные при добыче железной и медной руды, бурого угля; глубокий (до 500 м) угольный разрез.

2. Нарушенные земли предприятий перерабатывающей промышленности: золоотвалы (шлакоотвалы) тепловых электростанций, работающих на высокозольных углях; шламохранилища после обогащения железной руды и руд цветных металлов; отвалы отходов литейного производства.

Для указанных образований изучены их характеристики, дан прогноз естественного восстановления почвенного и растительного покровов,

рекомендованы способы биологической рекультивации и ее возможные направления, определено содержание тяжелых металлов в системе «субстрат — растение» (качество получаемой продукции).

Всего обследовано 35 тыс. га нарушенных промышленностью земель разных типов. Научные и практические результаты этой деятельности эффективно использованы предприятиями при биологической рекультивации около 2 тыс. га нарушенных земель, а также при подготовке нормативных документов. Полученные результаты опубликованы (Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов, 2000; Чибрик и др., 2008). Историческую справку по лаборатории можно найти на сайте www.recultbio.nich.usu.ru и в публикациях (Чибрик, 2004; 2005).

Второй этап — начало 1980-х гг. — в деятельности лаборатории связан с разворачиванием фундаментальных исследований с целью разработки экологических (теоретических) основ биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Исследовались состав и структура фитоценозов, возникших в процессе самозарастания. Подробно изучались основные направления трансформации культурфитоценозов, экспериментальных посевов и посадок, созданных для проверки разработанных рекомендаций по биологической рекультивации определенных техногенных образований. Большое внимание уделялось исследованию процессов восстановления фиторазнообразия на различных типах нарушенных земель, в том числе на золоотвалах тепловых электростанций и нарушенных землях открытых угольных разработок.

При исследованиях реализовалась комплексная программа по изучению фитоценозов техногенных ландшафтов, которая включала изучение динамики и структуры фитоценозов, их продуктивности, структуры и жизненности ценопопуляций толерантных и доминирующих видов. Подробно изучался флористический состав, биоэкологическая характеристика видов, химический состав растений, микотрофность видов. Впервые представлен и проанализирован опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель на фитоценоотическом и ценопопуляционном уровнях с учетом временной трансформации созданных культурфитоценозов и качества фитомассы.

При проведении исследований большое значение придавалось оценке перспектив использования растений с нарушенных промышленностью земель с учетом содержания в них тяжелых металлов.

Представленная монография содержит результаты 20-летних исследований (1990–2010) коллектива лаборатории антропогенной динамики экосистем и биологической рекультивации, ориентированные на необходимые в настоящее время практические экологические проблемы

и способы их решения с использованием разработанных в лаборатории методов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель.

В последние два десятилетия издано достаточно много обобщающих работ по проблеме рекультивации нарушенных промышленностью земель в различных регионах (Куприянов, 1989; Панков и др., 1991; Бурда, 1991; Капелькина, 1993; Миронычева-Токарева, 1998; Андроханов и др., 2000; Экологические основы и методы..., 2002; Махонина, 2003; Панков, Андрющенко, 2003; Чайкина, Объедкова, 2003; Лиханова и др., 2006; Экологические основы восстановления..., 2006; Экологические основы оптимизированной технологии..., 2007; Пугачев, Техменев, 2008; Экологические принципы..., 2009; Желева-Богданова, 2010; Куприянов и др., 2010).

Общую направленность работ по этой проблеме отражают труды двух крупных совещаний, проведенных на Урале в 2002 и 2007 гг. (Биологическая рекультивация нарушенных земель, 2003; Биологическая рекультивация и мониторинг..., 2007).

Однако результаты подробных длительных исследований по формированию фитоценозов техногенных экосистем содержат лишь немногие работы (Бурда, 1991; Миронычева-Токарева, 1998; Экологические основы восстановления..., 2006; Куприянов и др., 2010; и некоторые другие), что и побудило коллектив лаборатории обобщить имеющийся фактический материал по этой проблеме в виде монографии.

При сборе и первичной обработке материала неоценимую помощь оказывали студенты кафедры экологии (5–7 человек ежегодно), выполняющие курсовые и дипломные работы по тематике лаборатории, за что коллектив лаборатории выражает им глубокую признательность и благодарность.

1. ОБОБЩЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

1.1. Отвалы горнодобывающей промышленности

Характеристика состояния растительного покрова и его трансформация на старых Турьинских и Северном Веселовском отвалах (отвалы угольных месторождений)

Характеристика состояния растительного покрова. Вопрос о рекультивации отвалов Карпинско-Волчанского бурогоугольного бассейна серьезно встал в 1968–1970 гг. в связи с доработкой Веселовского и Богословского месторождений. Сотрудниками лаборатории промышленной ботаники Уральского университета были разработаны рекомендации по биологической рекультивации отвалов этих месторождений, которые использованы институтом «Уралгипрошахт» при составлении проекта по рекультивации нарушенных земель в бассейне. Предприятиями в соответствии с проектом проведена биологическая рекультивация отвалов Веселовского и части отвалов Богословского месторождений (всего 1 328 га).

В Свердловской области реализация проекта рекультивации в Карпинско-Волчанском бурогоугольном бассейне была первым опытом биологической рекультивации отвалов без почвенного покрытия на больших площадях. Поэтому рекультивированные площади бассейна многократно привлекали внимание как объект исследования. Проводилось изучение темпов и интенсивности процессов естественного восстановления почвенного и растительного покровов (Лукьянец, 1974; Махонина, Чибрик, 1978), оценивался опыт биологической рекультивации отвалов (Плошко, Чибрик, 1974; Чибрик, 1979), изучалась биологическая активность пород (Биологическая активность..., 1985) и химический состав кормовых трав на рекультивированных отвалах Веселовского и Богословского бурогоугольных месторождений (Махонина, 1985).

Существовало мнение, что наиболее целесообразный вид рекультивации в лесной зоне — лесная рекультивация, а в лесостепной и степной — сельскохозяйственная. Определение и учет конкретных экологических условий позволили значительно расширить возможности рекультивации и более рационально использовать нарушенные земли. Учитывая благоприятные микроклиматические условия, в Карпинско-Волчанском бассейне, расположенном в лесной зоне (подзона средней тайги), где земледелие весьма ограничено климатическими условиями, на части отвалов успешно, исходя из хозяйственных потребностей, осуществлена сельскохозяйственная рекультивация: созданы достаточно продуктивные сеяные кормовые угодья. Производственные посевы проведены на Северном Веселовском и на старых Турьинских отвалах, общая характеристика которых дана в табл. 1.

Таблица 1

**Общая характеристика Северного Веселовского
и старых Турьинских отвалов**

Отвалы	Время окончания отсыпки, лет	Высота насыпи, м	Угол склонов, град	Преобладающие породы	Мероприятия горнотехнического этапа рекультивации	Мероприятия биологического этапа рекультивации
Северный Веселовский (Веселовское месторождение)	20–36	10–28	30–37	Песчаники, аргиллиты, глины	Планировка поверхности бульдозером	Посев <i>Phleum pratense</i> L., <i>Phleum</i> с <i>Festuca pratensis</i> Huds. и <i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl с применением минеральных удобрений
Турьинские (Богословское месторождение)	30–41	10–12	28–37	Глины, аргиллиты, песчаники	То же	Посев <i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub с применением минеральных удобрений

Согласно ГОСТу 17.5.1.03-86 (1986), породы были охарактеризованы как нетоксичные, но малопригодные для биологической рекультивации из-за бедности подвижными формами основных элементов питания и сильной каменистости (см. табл. 1). При проведении сельскохозяйственной рекультивации отвалов горнотехнический этап включал планировку поверхности, а биологический — посев многолетних трав с применением комплекса минеральных удобрений.

На 92 га Северного Веселовского отвала был проведен посев *Avena sativa* L. с *Phleum pratense*. На момент исследования примерно 60 га отвала занято под посевом *Phleum pratense*, где позднее осуществлен подсев

Amoria repens и *Festuca pratensis*. Ежегодно на этом поле вносились удобрения: суперфосфат, калийная и аммиачная селитра из расчета N — 200, P и K — 100 кг/га действующего начала, но из-за недостатка удобрений они распределялись неравномерно. Остальные 32 га отвала — это заброшенное поле *Phleum pratense*, посев которой был осуществлен более 15 лет назад; никакого ухода за полем не производилось, и территория использовалась как пастбище.

Агрохимическое обследование показало, что реакция среды грунто-смесей отвалов изменяется от слабокислой до слабощелочной, для многих образцов близка к нейтральной (табл. 2), породы не засолены.

Таблица 2

**Агрохимическая характеристика грунтов Турьинских
и Северного Веселовского отвалов**

№ участка	Глубина, см	Сухой остаток, %	рН водный	С, %	N, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
						мг/100 г	
Турьинские отвалы							
I	0-2	0,23	7,3	3,97	0,44	16	19,9
	2-7	0,24	7,2	2,02	0,29	12	19,3
	7-20	0,24	7,5	2,26	0,54	15	15,7
II	0-2	0,11	6,6	4,10	0,65	38	25,2
	2-7	0,12	6,7	3,70	0,50	32	16,4
	7-20	0,14	6,9	2,81	0,39	35	13,9
III	0-2	0,27	6,1	3,14	0,67	25	21,1
	2-7	0,23	6,9	2,09	0,57	40	20,2
	7-20	0,19	7,0	1,71	0,20	25	16,4
IV	0-2	0,20	7,0	3,27	0,58	37	25,6
	2-7	0,15	7,1	2,49	0,38	40	27,4
	7-20	0,14	7,1	2,25	0,51	24	11,6
Северный Веселовский отвал							
I	0-2	0,25	6,2	5,35	0,43	43	35,3
	2-7	0,19	6,6	2,06	0,20	40	20,3
	7-20	0,23	6,7	1,60	0,24	43	15,1
II	0-2	0,20	6,8	2,50	0,23	61	40,3
	2-7	0,20	6,8	1,50	0,27	38	23,3
	7-20	0,23	6,5	1,10	0,15	36	12,4
IIa	0-2	0,20	6,8	2,66	0,48	46	27,9
	2-7	0,23	6,6	1,70	0,31	45	22,0
	7-20	0,19	6,5	0,96	0,26	36	14,5

Содержание органического С в образцах Турьинских отвалов примерно одного уровня на всех участках, изменяется от 1,71 до 4,1 %, за-

метно снижаясь с глубиной. В грунтосмесях Северного Веселовского отвала содержание С выше, особенно в поверхностном слое 0–2 см на заброшенном поле *Phleum pratense*. На наш взгляд, это связано со способом хозяйственного использования. На поле с подсевом *Amoria repens* и *Festuca pratensis* производилось ежегодное скашивание, на заброшенном — умеренная пастьба. Обеспеченность подвижными фосфатами и обменным К (по градации Е. В. Аринушкиной [1970]) на всех обследованных участках высокая, вероятно, благодаря внесению минеральных удобрений. Резкое снижение содержания С, N и К с глубиной свидетельствует об их биогенном накоплении.

Производственные посевы *Phleum pratense* и *Bromopsis inermis* рассматриваются нами здесь и на других техногенных объектах как культурфитоценозы, в пределах которых вся совокупность особей культурного вида принимается за ценопопуляцию. Термин «культурфитоценоз» часто употребляют как синоним термина «агрофитоценоз». В отношении объема этих понятий среди исследователей пока еще нет единого мнения. Впервые термин «культурфитоценоз» был предложен Ю. П. Бялловичем (1936). Под культурфитоценозом он понимал «определенную культуру, рассматриваемую как совокупность растений, характеризующуюся определенными взаимоотношениями между растением и средой, возникающими в результате наложения реакций ландшафта и борьбы за существование на комплекс целенаправленных растениеводческих мероприятий».

Критически оценивая понятия и определения агро- и культурфитоценоза, данные разными авторами (Быков, 1967; Камышев, 1971; Марков, 1969, 1972; Раменский, 1938; Фурсаев, Хохлов, 1947; и др.), А. А. Часовенная (1975) считает, что «под культивируемым фитоценозом, или культивируемым сообществом, следует понимать растительную группировку, в той или иной мере целенаправленно регулирующуюся, естественную или искусственно созданную, состоящую из одного или нескольких видов, в том числе и сорных растений, произрастающих на экологически относительно однородном участке территории, и на всем протяжении этого участка характеризующуюся однородными внешностью, составом и строением, а также наличием тесных взаимоотношений растений друг с другом и со средой». Исходя из вышесказанного, изученные нами посевы многолетних трав мы склонны называть культурфитоценозами. Они занимают промежуточное положение между агро- и натурфитоценозами (Злобин, 1986). Б. М. Миркин с соавт. (1989) также дали определение культурфитоценоза: «Культурфитоценоз — широкое понятие, которым обозначаются любые растительные сообщества, созданные человеком. К культурфитоценозам относятся агрофитоценозы, агро степи, агропу-

ясь под его пологом. Видовое разнообразие их невелико: на участке I — 12, на участке II — 16 видов. Высокий процент встречаемости у *Festuca pratensis* — 87 и 70 % соответственно на I и II участках (табл. 4).

Таблица 4

**Встречаемость по участкам внедрившихся видов в посевах
Bromopsis inermis и *Phleum pratense*, %**

Вид	Посевы						
	<i>Bromopsis inermis</i>				<i>Phleum pratense</i>		
	I	II	III	IV	I	II	IIa
<i>Achillea millefolium</i> L.	3	3	16	—	40	—	2
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Beauv.	—	3	—	—	—	—	—
<i>Agrostis gigantea</i> Roth	—	—	—	—	20	6	—
<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl	—	—	3	36	16	—	—
<i>Avena fatua</i> L.	—	—	—	—	—	6	—
<i>Calamagrostis phragmitoides</i> C. Hartm.	—	—	6	—	—	—	—
<i>Carum carvi</i> L.	—	10	3	20	—	—	—
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	3	—	3	20	10	13	6
<i>Chenopodium album</i> L.	—	—	—	—	6	6	2
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess.	20	3	17	96	3	—	6
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	—	—	—	—	3	—	—
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	—	—	—	—	6	—	—
<i>Elymus fibrosus</i> (Schrenk) Tzvel.	—	—	—	—	3	6	8
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	—	43	26	16	93	56	69
<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	—	—	—	—	3	—	—
<i>Equisetum arvense</i> L.	3	—	13	3	—	—	—
<i>Fragaria vesca</i> L.	—	—	6	—	—	—	—
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	87	70	93	100	16	—	—
<i>Geum urbanum</i> L.	—	—	3	—	—	—	—
<i>Hieracium pilosella</i> L.	—	—	—	—	10	6	6
<i>Imula salicina</i> L.	—	6	—	—	—	—	—
<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	—	3	—	—	6	—	—
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	—	—	10	13	—	—	—
<i>Linaria vulgaris</i> L.	6	6	—	3	6	6	8
<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke	—	3	—	—	—	—	—
<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	—	—	—	—	3	—	—
<i>Phleum pratense</i> L.	—	23	—	—	—	—	—
<i>Plantago lanceolata</i> L.	3	13	23	33	—	—	—
<i>Poa pratensis</i> L.	—	—	—	—	10	19	—
<i>Potentilla anserina</i> L.	20	30	—	—	—	—	—
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Racusch.	10	—	3	—	—	—	—
<i>Ranunculus acris</i> L.	—	—	13	6	3	6	—
<i>Rumex acetosella</i> L.	—	—	—	—	10	6	—
<i>Sonchus arvensis</i> L.	13	—	—	—	—	6	24
<i>Stellaria graminea</i> L.	13	6	—	20	10	—	—
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	—	—	—	—	3	—	—
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	6	—	46	6	30	—	2
<i>Trifolium pratense</i> L.	—	3	6	20	16	6	20
<i>Vicia cracca</i> L.	—	20	13	13	—	—	6

Встречаемость таких видов, как *Cirsium setosum* (Willd.) Bess., *Stellaria graminea* L., *Potentilla anserina* L., *P. erecta* (L.) Raeusch., *Sonchus arvensis* L., на участке I составляет 10–20 %. Остальные виды имеют незначительную долю участия. Здесь же интенсивно внедряются такие виды, как *Vicia cracca* L. (20 %), *Potentilla anserina* (30 %), *Phleum pratense* (23 %), *Elytrigia repens* (L.) Nevski (43 %). Встречаемость остальных видов составляет 3–10 %.

Большинство внедрившихся видов на обоих участках представлено вегетативными особями. Только четыре вида (*Potentilla anserina* и *P. erecta*, *Stellaria graminea*, *Festuca pratensis*) на I участке и три вида (*Festuca pratensis*, *Elytrigia repens* и *Phleum pratense*) на участке II достигли в своем развитии фаз цветения и плодоношения.

Возможно, наблюдаемая задержка в прохождении этапов большого жизненного цикла внедрившимися видами обусловлена отрицательным влиянием *Bromopsis inermis* как средообразующего компонента культурфитоценоза, играющего решающую роль в создании условий существования «внедренцев», живущих под пологом культурного яруса.

Травостой участка III изрежен. Общее проективное покрытие (ОПП) составляет 25 %. *Bromopsis inermis* в пределах контура посева распространен неравномерно, встречаются участки, лишенные культурного вида. Посев сильно засорен. Количество побегов «внедренцев» на учетную площадку 0,25 м² равно 45, это в 3 раза больше количества побегов культуры (см. табл. 3). По числу внедрившихся видов (их 18) культурфитоценоз участка III превосходит все остальные. Наиболее обильно в посеве представлены: *Festuca pratensis* (встречаемость 93 %), *Taraxacum officinale* (46 %), *Plantago lanceolata* (23 %), *Elytrigia repens* (26 %). Встречаемость остальных видов равна 3–17 % (см. табл. 4).

Общий аспект на участке IV создается *Cirsium setosum*, встречаемость которого составляет 96 %. *Bromopsis* из травостоя выпадает, представлен в основном вегетативными побегами. Количество побегов культурного вида на единицу площади (0,25 м²) — 12, побегов «внедренцев» в 5 раз больше. Обильно в травостое представлена *Festuca pratensis*. На этом участке большинство «внедренцев» имеет встречаемость больше 10 %. Только у четырех видов из 15, таких как *Linaria vulgaris*, *Ranunculus acris*, *Taraxacum officinale*, *Equisetum arvense*, встречаемость составляет 3–6 %. Распределение видов «внедренцев» по площади культурфитоценоза неравномерно: от равномерно рассеянного до группового. Больше половины внедрившихся видов достигли в своем развитии фаз цветения и плодоношения. Господство «внедренцев» на III и IV

участках указывает на постепенную деградацию ценопопуляции культурного вида.

Высота травостоя на обоих участках изменяется от 70 до 100 см. Вследствие неравномерного распределения культуры в посеве сплошного полога культурного яруса не образуется, четкого распределения внедрившихся видов по ярусам не наблюдается. В культурфитоценозах III и IV участков культурный вид не является доминантом-эдификатором, не играет главной средообразующей роли. Ухудшение агротехники, образование подушки из ветоши (скашивания не производилось) приводят к массовому внедрению видов дикой флоры.

Одной из главных особенностей всякого культурфитоценоза является относительная кратковременность его существования. Культивируемое сообщество (особенно агрофитоценоз), будучи предоставлено самому себе, не может длительно удерживать за собой территорию, вследствие чего замещается природной растительностью.

Исследование на Северном Веселовском отвале заброшенного поля *Phleum pratense* (участок I), на котором интенсивного ухода не было около 10 лет, показало, что посев *Phleum* деградирует. *Phleum pratense* в травостое встречается отдельными куртинами, образованными преимущественно сенильными особями (генеративные особи единичны). В местах ее выпадения разрастаются внедрившиеся виды. Всего на поле зарегистрировано 23 вида «внедренцев». Семейство Fabaceae представлено двумя видами: *Trifolium pratense* и *Amoria repens*, встречаемость которых равна 16 %. Из 6 видов Poaceae наибольшая встречаемость у *Elytrigia repens* (93 %). В понижениях образуются плотные дерновины *Dactylis glomerata* L., наиболее постоянны из разнотравья *Achillea millefolium* и *Taraxacum officinale* (см. табл. 4). Все представители Poaceae, а также *Trifolium pratense*, *Amoria repens*, *Stellaria graminea*, *Linaria vulgaris*, *Achillea millefolium* имеют групповое распределение, остальные виды — равномерно рассеянное. Почти все внедрившиеся виды проходят полный цикл развития.

Мозаичность в распределении «внедренцев» в сообществе обусловлена случайным заносом семян, микроразличиями условий местообитания ценопопуляций, а также влиянием одних растений на другие, конкуренцией за свет, воду, пищу, особенностями вегетативного размножения.

Анализ учетных площадок показал, что по густоте травостоя число побегов внедрившихся видов примерно в 2,5 раза превышает число побегов *Phleum pratense* (табл. 5, участок I). Травостой изрежен. Общее проективное покрытие составляет 28 %. Максимальная высота тра-

востоя — 70–80 см, четкого подразделения на ярусы не наблюдается. *Phleum pratense* не является доминантом данного сообщества, активными членами его становятся внедрившиеся виды местной флоры.

Таблица 5

Густота травостоя производственных посевов *Phleum pratense*

№ участка	Общее проективное покрытие, %	Число побегов, шт./0,25 м ²					
		Всего		В том числе			
		X_{φ}	lim	<i>Phleum pratense</i>	<i>Festuca pratensis</i>	<i>Amoria repens</i>	«вне-дренцев»
I	28	128	45–180	36	—	—	86
II	73	117	75–264	67	30	2	19
Ia	46	93	38–193	57	16	4	16

На заброшенном поле при прекращении интенсивного регулирующего воздействия человека наблюдаются начальные стадии восстановительной сукцессии: на месте культурфитоценоза формируется многовидовое растительное сообщество лугового типа. На другом поле, занятом смешанным посевом *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Amoria repens*, выделяются темные и светлые полосы. Это связано с неравномерным внесением удобрений. Общее проективное покрытие темных полос (участок II) составляет 74 %, растения более мощные, высокие. Светлые полосы (участок Ia) характеризуются меньшей густотой стояния, растения менее мощные, со светло-зелеными листьями. Общее проективное покрытие составляет 46 %.

Густота травостоя на участке II выше, чем на участке Ia (см. табл. 5). Количество побегов на учетной площадке (0,5 × 0,5 м) в первом случае 117, во втором — 93, причем сильнее угнетена *Festuca pratensis*, чем *Phleum pratens*. По количеству побегов *Phleum* оба варианта практически не различаются, а количество генеративных и вегетативных побегов *Festuca* на участке II почти в 2 раза больше, чем на участке Ia.

Высокий уровень минерального питания оказывает более сильное положительное воздействие на побегообразовательную способность *Festuca*, чем *Phleum*. Густота стояния травостоя равномерная, поле чистое, 10–12 видов «внедренцев» местной флоры имеют незначительную долю участия.

Наиболее обилен *Elytrigia repens*, встречаемость которого составляет 56–69 %, а остальных видов — 6–8 % (см. табл. 4). Распределение «внедренцев» по площади культурфитоценоза равномерно рассеянное. Внедрившиеся виды испытывают угнетение. Они располагаются в основном под пологом культурного яруса. Высота травостоя изменяется от

60 до 100 см, участки II и IIa по этому показателю практически не различаются. Культурный ярус образуют *Phleum pratense* и *Festuca pratensis*. *Amoria repens* испытывает угнетение из-за недостатка света, поэтому встречается отдельными пятнами. В целом высеянные культурные виды на этом поле являются доминантами-эдификаторами культурфитоценоза; внедрившиеся виды играют подчиненную роль.

Пространственная и возрастная структура ценопопуляций. В культурфитоценозах всю совокупность культурных растений мы рассматривали как ценопопуляцию, понимая под этим термином совокупность особей данного вида в пределах одного фитоценоза (Работнов, 1978). Ценопопуляция, подобно любой биологической системе, характеризуется определенной структурой, включающей некоторый набор элементов, пространственное их расположение и характер связей между ними (Ценопопуляции растений..., 1977). Через пространственную структуру реализуются основные адаптационные возможности ценопопуляции культурных видов, что определяет устойчивость и продуктивность культурфитоценоза в целом.

Пространственная структура ценопопуляций *Bromopsis inermis* на I и II участках в отличие от участков III и IV характеризуется относительно равномерным расположением ценобионтов (парциальных побегов) по площади культурфитоценозов. На III и IV участках наблюдается значительная изреженность посевов. Анализ среднего количества побегов на площадке (0,5 × 0,5 м) на всех участках показал, что густота стояния вегетативных побегов на III и IV участках в 2,5–3 раза меньше, чем на участках I и II (табл. 6).

На всех участках наблюдается горизонтальная неоднородность, которая выражается в неравномерном размещении как генеративных, так и вегетативных побегов. Количество генеративных побегов на единицу площади I участка изменяется от 0 до 10, на II участке — от 1 до 25, а вегетативных соответственно — от 7 до 60 и от 12 до 80. Сравнивая коэффициенты вариации числа побегов на учетную площадку, можно сказать, что этот показатель выше на III и IV участках. Особенно значительно изменяется количество генеративных побегов (см. табл. 6). Ценопопуляции *Bromopsis inermis* на III и IV участках характеризуются большей горизонтальной неоднородностью, чем на участках I и II.

Характеризуя вертикальную структуру ценопопуляций, следует отметить, что выделить дискретные слои в пределах культурного яруса не представляется возможным. Для изученных ценопопуляций *Bromopsis inermis* характерно значительное варьирование высоты как генеративных, так и вегетативных побегов. Максимальная и минимальная вели-

чины генеративных побегов различаются в 2 раза, а эти же показатели у вегетативных отличаются в 4–7 раз. Например, высота генеративных ценобионтов на участке I изменяется от 60 до 120 см, вегетативных — от 30 до 100 см, а на IV соответственно от 50 до 116 и от 10 до 77 см (см. табл. 6). Поэтому в каждой ценопопуляции образуется слой, где находятся как генеративные, так и вегетативные побеги. В частности, в ценопопуляции *Bromopsis* на участке I этот слой занимает объем от 60 до 100 см, на участке II — от 80 до 120, на III и IV участках — примерно от 50 до 70 см.

Важным показателем, характеризующим жизнь ценопопуляции, является возрастная структура. Особи ценопопуляции могут быть разделены на возрастные группы, каждой из которых присущ свой комплекс морфологических и биологических признаков. Всякая особь ценопопуляции в определенный момент своего развития может быть охарактеризована двойкой: 1) календарным возрастом, представляющим отрезок времени с момента ее возникновения до момента наблюдений; 2) совокупностью возрастных признаков, отражающих степень онтогенетического развития особи, ее возрастной уровень или возрастное состояние. Возрастное состояние связано с календарным возрастом, но в ценопопуляциях возможно существование особей разного возраста и одинакового возрастного состояния и, наоборот, разного возрастного состояния и одинакового возраста (Ценопопуляции растений..., 1976).

Особи одного возрастного состояния объединяются в возрастные группы. Т. А. Работнов (1964) выделяет такие возрастные группы: группа особей, находя-

Таблица 6
Густота стояния и высота побегов в ценопопуляциях *Bromopsis inermis*

№ участка	Число побегов, шт./0,25 м ²				Высота побегов, см			
	Генеративные		Вегетативные		Генеративные		Вегетативные	
	X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim
I	3,6	0–10	94	24,4	7–60	48	54,5	30–100
II	6,7	1–25	78	28,8	12–80	55	76,8	30–120
III	3,4	0–16	108	11,6	0–30	61	33,3	9–70
IV	0,6	0–2	100	11,2	0–27	56	32,6	10–70

щихся в состоянии первичного покоя (семена); виргинильные особи; генеративные особи; сенильные особи; группа особей, находящихся в состоянии вторичного покоя.

В ценопопуляциях *Bromopsis inermis* разных годов жизни нами выделены группы ценобионтов двух возрастных состояний: виргинильные и генеративные. Преобладающей возрастной группой в составе ценопопуляций являются виргинильные ценобионты, составляющие 77–96 %. Наибольшая доля участия генеративных ценобионтов (23 %) наблюдается в ценопопуляции *Bromopsis* на участке III, наименьшая (4 %) — на участке IV.

По мнению Т. А. Работнова (1978), существенным приспособительным свойством растений является способность их особей в зависимости от среды обитания изменять длительность виргинильного периода. Вероятно, ухудшение условий произрастания, воздействие на особи *Bromopsis* внедрившихся видов ведет к замедлению развития и увеличению виргинильного периода, что было отмечено в экспериментальных посевах Коркинского разреза (Серая, Чибрик, 1984; 1985). Различия в возрастной структуре ценопопуляций *Bromopsis inermis*, по-видимому, связаны не только с возрастом посевов, но и с агротехникой.

Популяционный анализ *Phleum pratense* на заброшенном поле показал, что ее ценопопуляция характеризуется сложной пространственной структурой. Размещение ценобионтов по площади культурфитоценоза неравномерное, в местах выпадения культурного вида наблюдается поселение «внедренцев», которые превосходят его по численности. В ценопопуляции *Phleum pratense* отмечена значительная горизонтальная неоднородность; количество генеративных побегов на учетной площади колеблется от 0 до 16, а число вегетативных — от 0 до 161 (табл. 7). Крайняя изреженность посева приводит к тому, что сплошного полога культурный ярус не образует. В ценопопуляции наблюдается сложная дифференциация генеративных и вегетативных побегов по высоте, вследствие чего имеет место постепенный переход от минимальной высоты (4 см) вегетативных побегов до максимальной (85 см) генеративных. Возрастная структура ценопопуляции сложная и представлена ювенильными, виргинильными, генеративными и сенильными ценобионтами. Достаточно высокий процент (15) ювенильных особей свидетельствует о самовозобновлении популяции *Phleum pratense*. Обсеменение стало возможным при нерегулярном сенокошении, его поздних сроках, после созревания семян, пастбищном использовании. Прорастание семян и образование ювенильных растений связано с наличием свободных пространств вследствие выпадения культурного вида. Сенильных особей в

составе ценопопуляции в 2 раза меньше, чем ювенильных. Ценопопуляция характеризуется высокой долей участия виргинильных (45 %) и генеративных (32 %) особей.

Все это свидетельствует о том, что ценопопуляция *Phleum pratense* находится в прогрессирующем динамическом состоянии. Руководствуясь определением Т. А. Работнова (1978), ее можно считать ценопопуляцией нормального типа (гомеостатической). Присутствие особей различного возрастного состояния имеет большое значение для устойчивости видов в фитоценозах; это дает возможность более полно использовать среду, существовать не только в оптимальных, но и значительно отклоняющихся от них условиях.

Таким образом, ослабление агротехники, с одной стороны, привело к изреживанию посева, выпадению особей культурного вида; с другой стороны, сохранившиеся особи приспособились к изменяющимся условиям (изменение эдафических условий, влияние внедрившихся видов) и оказались способными к прохождению всех этапов большого жизненного цикла. Культурфитоценоз приобрел такое принципиально важное свойство, как самовозобновление культурного вида, усложнилась возрастная структура ценопопуляции *Phleum pratense*. В перспекти-

Таблица 7
Густота стояния и высота побегов культурных видов в производственных посевах *Phleum pratense*

№ участка	Вид культурного растения	Число побегов, шт./0,25 м ²						Высота побегов, см					
		Генеративные			Вегетативные			Генеративные			Вегетативные		
		X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim	Cv, %
I	<i>Phleum pratense</i>	5,6	0-16	79	13,0	0-16	117	47,2	21-85	16	13,7	4-36	29
II	<i>Phleum pratense</i>	20,6	4-37	44	47,0	10-90	58	66,1	35-107	14	29,9	6-53	24
	<i>Festuca pratensis</i>	5,2	0-24	124	24,6	0-55	89	67,5	30-105	22	29,4	5-40	29
	<i>Amoria repens</i>	0,9	0-15	184	0,6	0-3	200	19,0	10-20	7	8,5	5-12	33
IIa	<i>Phleum pratense</i>	16,4	4-34	40	41,3	8-115	53	64,9	37-104	13	21,1	5-50	25
	<i>Festuca pratensis</i>	2,7	0-17	140	13,1	0-60	132	65,3	35-85	14	20,9	6-40	30
	<i>Amoria repens</i>	1,1	0-15	318	2,5	0-30	228	11,5	10-20	32	6,1	4-16	66

ве можно прогнозировать устойчивость и долговечность трансформированного культурфитоценоза.

Анализ ценопопуляций культурных видов на втором поле производственных посевов *Phleum* показал, что их пространственная структура характеризуется горизонтальной неоднородностью как на II, так и на IIa участках.

Более или менее равномерное распределение ценобионтов в культурфитоценозах наблюдается в ценопопуляции *Phleum pratense*. Причем наибольшей равномерностью характеризуется II участок, особенно в размещении вегетативных побегов. Так, количество вегетативных побегов на единице площади в пределах этого участка изменяется от 10 до 90, тогда как на IIa участке — от 8 до 115.

Горизонтальной неоднородностью отличаются ценопопуляции *Festuca pratensis* и *Amoria repens* (см. табл. 7). В ценопопуляциях культурных видов отмечена значительная дифференциация побегов по высоте. На II участке наблюдается увеличение высоты генеративных и вегетативных побегов всех культурных видов, что связано с улучшением эдафических условий. Разновысотность побегов реализуется как вертикальный континуум.

На этом участке отмечается увеличение генеративных ценобионтов всех культурных видов. Доля участия генеративных побегов *Phleum* на этом участке увеличилась до 60 % по сравнению с 36 % на участке IIa, *Festuca* — с 17 до 19 %, *Trifolium pratense* и *Amoria repens* — с 29 до 67 %. Увеличение процента генеративных ценобионтов свидетельствует об ускорении темпов развития при улучшении минерального питания. Различия в обеспеченности грунтосмесей участков элементами питания обуславливают и отличие пространственной и возрастной структуры ценопопуляций культурных видов.

Морфологическая структура и продуктивность ценопопуляций. Изучение морфологической структуры ценопопуляции позволяет судить о таких ее характеристиках, как мощность и продуктивность. Одним из проявлений морфологической неоднородности особей ценопопуляции является их разнокачественность по уровню жизненности. А. А. Уранов (1960; 1977) под жизненностью особи понимает свойство особи, проявляющееся: 1) в мощности ее вегетативных и генеративных органов, что, в свою очередь, отражает количество накопленной энергии; 2) в устойчивости ее к неблагоприятным воздействиям.

В процессе онтогенеза жизненность особи меняется, ее мощность и устойчивость сначала нарастают, а затем уменьшаются. Отражается это в смене возрастных состояний особей. Вместе с тем особи одного вида в

одинаковом возрастном состоянии могут достигать различной мощности. О жизненности ценопопуляции можно судить по жизненности составляющих ее ценобионтов. Более объективно жизненность ценопопуляции можно определить на модельных особях.

Анализ морфологических особенностей ценобионтов *Bromopsis inermis*, взятых со II участка, показал сложную морфологическую структуру ценопопуляции (табл. 8). Вычисленная средняя «особь» (имеется в виду ценобионт) этой популяции характеризуется достаточно мощным развитием.

Таблица 8

Статистическая характеристика морфологических показателей ценобионтов *Bromopsis inermis* в ценопопуляции на участке II

Показатель	Генеративные			Виргинильные		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Длина корневизца, см	5,8	4–18	55	5,2	2–12	48
Количество шилец, шт.	1,2	0–4	110	1,1	0–5	110
Количество побегов в зоне кущения, шт.	1,4	1–3	41	1,2	1–3	43
Высота побега, см:						
генеративного	111,9	72–150	18	—	—	—
вегетативного удлинённого	60,0	50–80	10	70,5	39–101	25
вегетативного укороченного	22,8	16–30	27	13,8	10–17	21
Количество зеленых листьев, шт.	3,0	1–5	31	7,3	4–11	25
Количество узлов на удлинённой части побега, шт.	5,1	4–6	17	7,3	4–10	23
Размер листа, см:						
длина	19,5	10–28	24	18,2	10–25	18
ширина	0,6	0,4–1,0	26	0,5	0,3–0,8	24
Длина соцветия, см	14,4	8–23	24	—	—	—
Вес воздушно-сухой массы, г	1,9	0,7–3,5	48	0,89	0,3–1,8	49

Данные морфологического анализа генеративного ценобионта показали, что абсолютные показатели таких признаков, как высота генеративного побега (средняя высота равна 111 см, максимальная — 150 см), длина соцветия (средняя — 14 см, максимальная — 23 см) соотносятся с литературными данными (Лебедев, Углов, 1961).

О средних величинах и варьировании количественных показателей морфологических признаков «особей» *Bromopsis inermis* дают представление данные табл. 8. Они отражают значительное разнообразие побегов по мощности вегетативных и генеративных органов. Так, высота удлинённого вегетативного побега изменяется от 39 до 101 см, генера-

тивного — от 72 до 150 см. Вес воздушно-сухой массы генеративного ценобионта колеблется от 0,7 до 3,5 г, а вегетативного — от 0,3 до 1,8 г. В целом генеративная «особь» *Bromopsis inermis* характеризуется большей мощностью, чем вегетативная.

В ценопопуляции *Phleum pratense* на заброшенном поле наблюдается сложная морфологическая структура. Изменение мощности ценобионтов в зависимости от возрастного состояния иллюстрирует табл. 9. От ювенильного до генеративного состояния отмечается нарастание этой мощности, что можно проследить на таких показателях, как высота побега, количество побегов в зоне кущения, размер листа. Так, высота ювенильного побега равна 4,5 см, удлиненного

Таблица 9
Статистическая характеристика морфологических показателей ценобионтов *Phleum pratense* в ценопопуляции на участке I

Показатель	Ювенильные			Виргинильные			Генеративные			Сенильные		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Количество побегов в зоне кущения, шт.	—	—	—	2,6	1,6	50	5,5	1–55	170	4,6	0–12	61
Высота побега, см:	4,5	2–7	34	—	—	—	49,6	29–75	25	—	—	—
вегетативного удлиненного	—	—	—	15,8	9,24	25	22,4	12–35	24	13,2	8–16	22
вегетативного укороченного	—	—	—	8,6	3–18	56	9,3	2–21	43	8,6	3–14	38
Количество узлов на удлиненной части побега, шт.	—	—	—	2,5	2–5	34	3,4	3–5	16	2,4	1–5	58
Количество зеленых листьев, шт.	3,3	2–4	21	3,9	2–6	24	3,5	2–5	20	4,0	3–5	17
Размер листа, см:												
длина	3,0	1,5–6	42	7,9	3–13	42	11,1	5–13	26	6,4	4–11	24
ширина	0,1	0,1–0,2	19	0,3	0,2–0,5	23	0,5	0,3–0,6	20	0,3	0,2–0,6	30
Длина соцветия, см	—	—	—	—	—	—	2,9	1–6	21	—	—	—
Вес воздушно-сухой массы, г	—	—	—	0,19	0,04–0,46	63	0,8	0,14–6,44	150	0,13	0,04–0,38	87

вегетативного побега вегетативной «особи» — 15,8 см, а генеративной — 22,4 см.

Ценотическое значение ювенильных особей, их доля в продукции ценопопуляции невысока. Важнее в этом отношении взрослые виргинильные и генеративные «особи». Вес воздушно-сухой массы вегетативного ценобионта равен 0,09 г, а генеративного — 0,8 г. К сенильному возрастному состоянию мощность «особи» снижается до 0,13 г, уменьшаются средняя высота удлинённых вегетативных побегов до 13,2 см, размеры листа до $6,4 \times 0,3$ см и другие показатели.

Средняя модельная «особь» *Phleum pratense* любой возрастной группы со II участка характеризуется более высоким значением морфологических показателей по сравнению с таковыми участка IIa (табл. 10, 11). Высота удлинённого вегетативного побега генеративного ценобионта со II и IIa участков соответственно равна 27 и 14 см, вес воздушно-сухой массы генеративного ценобионта — 1,1 и 0,7 г. Увеличение мощности ценобионтов является следствием более благоприятных условий минерального питания.

Таблица 10

Статистическая характеристика морфологических показателей виргинильных ценобионтов *Phleum pratense*

Показатель	Участок II			Участок IIa		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Количество побегов в зоне кущения, шт.	2,6	1–6	50	2,0	1–7	76
Высота побега, см:						
вегетативного удлинённого	26,2	9–52	32	21,9	12–41	22
вегетативного укороченного	6,4	3–12	—	—	—	—
Количество узлов на удлинённой части побега, шт.	3,6	1–5	29	4,3	1–5	16
Количество зелёных листьев, шт.	4,4	3–6	21	4,4	3–6	21
Размер листа, см:						
длина	10,6	7–18	29	9,5	6–14	21
ширина	0,4	0,3–0,5	22	0,3	0,2–0,5	20
Вес воздушно-сухой массы, г	0,19	0,04–0,46	63	0,15	0,04–0,23	64

Следует отметить, что размах колебаний морфологических признаков вегетативных и генеративных ценобионтов *Phleum pratense* со II участка выше, чем с участка IIa. Например, высота генеративного побега в первом случае изменяется от 39 до 92 см, во втором — от 42 до 89 см.

Общая биомасса надземных побегов растений может служить показателем мощности ценопопуляции. Мощность ценопопуляции в целом —

один из важных показателей ее жизненного состояния, зависящий от численности и размеров отдельных ценобионтов.

Таблица 11

Статистическая характеристика морфологических показателей генеративных ценобионтов *Phleum pratense*

Показатель	Участок II			Участок IIa		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Количество побегов в зоне кущения, шт.	2,7	1–9	70	1,6	1–7	76
Высота побега, см:						
генеративного	67,4	39–92	26	67,1	42–89	22
вегетативного удлинненного	27,0	23–32	16	14,3	12–16	15
вегетативного укороченного	9,4	2–19	46	7,2	2–13	55
Количество узлов на удлинненной части побега, шт.	3,9	3–5	15	4,8	3–5	15
Количество зеленых листьев, шт.	3,9	3–5	15	4,8	3–6	17
Размер листа, см:						
длина	14,0	9–24	26	10,0	8–18	29
ширина	0,6	0,4–0,8	18	0,5	0,3–0,6	19
Длина соцветия, см	4,0	1–7	56	3,1	1–6	49
Вес воздушно-сухой массы, г	1,1	0,37–3,49	62	0,7	0,17–1,94	80

Из ценопопуляций *Bromopsis inermis* наибольшей продуктивностью характеризуется популяция со II участка, где в пересчете на 1 га урожай воздушно-сухой массы надземных побегов составил 55 ц.

Наименьшая продуктивность наблюдается у ценопопуляции с IV участка, где отмечалась деградация культурного вида. Урожай надземной массы *Bromopsis* здесь составил всего 3,8 ц/га. Уместно заметить, что при прочих равных экологических условиях II и IV участки сходны по агрохимической характеристике грунтосмесей. Урожай надземной массы *Bromopsis inermis* определяется фитоценоотическими условиями и связан с возрастом ценопопуляции, мерами ухода и хозяйственного использования, направленными именно на создание и поддержание фитоценоотической среды культурфитоценоза.

Оценивая посевы с хозяйственной точки зрения, следует учитывать общую продуктивность травостоя, а также долю, которую составляют внедрившиеся виды в общем урожае. Высокий урожай биомассы всего травостоя наблюдается на II участке — 69 ц/га, из них 12,5 ц/га приходится на такие злаки, как *Elytrigia repens*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*, которые отличаются хорошей кормовой ценностью. Небольшую долю в общей биомассе на этом участке составляет разнотравье, всего 1,4 ц/га.

На I участке вес воздушно-сухой массы всего травостоя составляет 33 ц/га, из них 27,6 ц/га приходится на *Bromopsis inermis*. Посевы III и IV участков характеризуются средним урожаем воздушно-сухой массы — соответственно 23 и 19,6 ц/га (табл. 12). Хотя продуктивность на этих участках примерно одинакова, но на III участке большую долю в урожае вносит *Bromopsis*, а на IV — представители разнотравья, в основном *Cirsium setosum*, биомасса которого равна 9,6 ц/га.

Таблица 12

**Вес воздушно-сухой надземной массы посевов
Bromopsis inermis и *Phleum pratense*, г/м²**

№ участка	Всего	Культурные виды	Внедрившиеся злаки	Внедрившееся разнотравье
<i>Bromopsis inermis</i>				
I	329,9	276,1	40,3	13,5
II	688,9	550,3	124,8	13,8
III	231,0	160,4	40,3	30,3
IV	195,7	38,1	36,5	121,1
<i>Phleum pratense</i> *				
I	161,0	55,8	69,4	35,8
II	541,3	466,0	74,0	1,3
IIa	339,1	221,0	116,0	2,1

* В посевах *Phleum pratense* на участках II и IIa учтена масса подсеянных видов — *Festuca pratensis* и *Amoria repens*.

В производственных посевах *Phleum pratense* высокая продуктивность травостоя отмечена на II участке и составляет 54,1 ц/га; вес воздушно-сухой массы травосмеси культурных видов (*Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Amoria repens*) равен 46,6 ц/га, что в 2 раза превышает эти показатели на участке IIa. Общая биомасса на участке IIa составляет 33,9 ц/га, из них 11,6 ц/га приходится на внедрившиеся виды Poaceae: *Elytrigia repens* и *Elymus fibrosus* (см. табл. 12).

На заброшенном поле *Phleum pratense* отмечена низкая продуктивность, одной из причин которой является выпас скота. Урожай воздушно-сухой надземной массы составляет 16,1 ц/га.

Высокие урожаи многолетних трав на II участке (с удобрением) и значительное снижение их в культурфитоценозе, который приближается к естественному растительному сообществу, свидетельствуют о том, что успешное проведение сельскохозяйственной рекультивации возможно при постоянном соблюдении определенных агротехнических приемов возделывания культурных видов.

Таким образом:

1. Опыт биологической рекультивации на отвалах Веселовского и Богословского месторождений показал возможность их использования для посева многолетних трав без покрытия почвой или потенциально плодородными породами с получением высоких урожаев сена.

2. Состояние посевов *Bromopsis inermis* значительно различается по участкам: на I и II участках его можно характеризовать как хорошее, на III — удовлетворительное, на IV — неудовлетворительное. Производственные посевы *Phleum pratense* тоже различаются: на заброшенном поле наблюдается низкопродуктивное растительное сообщество, на ухоженном получают высокие урожаи сена, причем с увеличением удобрений урожай повышается. Различие в состояниях посевов обусловлено степенью ухода за ними или его полным отсутствием.

3. Более высокий урожай надземной массы характерен для чистого посева *Bromopsis inermis* (69 ц/га) и удобренных участков производственных посевов *Phleum pratense* (54,1 ц/га). Поэтому в посевах необходимо шире использовать *Bromopsis inermis*.

4. Создание долговечных и продуктивных сенокосных и пастбищных угодий возможно при строгом соблюдении приемов агротехники возделывания многолетних трав. В частности, при строгом подборе ассортимента культурных видов, применении комплекса минеральных, а также органоминеральных удобрений требуется своевременный пересев трав в созданных культурфитоценозах.

5. Успешное проведение сельскохозяйственной рекультивации для данного района имеет большое значение вследствие того, что сельскохозяйственное производство здесь весьма ограничено климатическими условиями и малой площадью угодий, особенно пахотных земель.

Временная трансформация экспериментальных культурфитоценозов на гидроотвалах Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота

При проведении рекультивации нарушенных промышленностью земель на Урале остро стоит проблема дефицита плодородного слоя почвы и потенциально плодородного грунта. Решение проблемы — подбор (для каждого предприятия индивидуальный) видов растений-мелиорантов, способных в короткое время ограничить загрязняющее воздействие вынесенных на поверхность горных пород, а при более благоприятных эдафических условиях восстановить хозяйственную ценность нарушенных территорий. Для этой цели используются растения, устойчивые к условиям необычной для них среды и способные образовывать высо-

копродуктивные сообщества, которые, являясь одним из существенных структурных компонентов ландшафта, выполняли бы одновременно почвозащитную, культурно-эстетическую и санитарно-гигиеническую функции.

Шуралино-Ягодное месторождение входит в группу Невьянских россыпей (г. Невьянск, Свердловская обл., таежная зона, подзона южной тайги), расположенных на восточном склоне Среднего Урала в бассейне верхнего течения р. Нейва. Нарушенные земли представляют собой сеть гидроналивных полигонов с подпорными дамбами из вскрышных пород. По пригодности для использования в целях рекультивации глинистые породы характеризуются как нетоксичные, по механическому составу — слабокаменистые, среднетяжелые, по реакции среды — слабокислые, малопригодные из-за крайне низкого содержания основных элементов питания (ГОСТ 17.5.1.03-86, 1986) и неблагоприятных физических свойств (набухаемость, пучинистость, слабая водостойкость).

На гидроотвале опробован метод ускоренной рекультивации, который предполагает на малопригодных субстратах вместо создания рекультивационного слоя (нанесения потенциально плодородных пород или торфа) окультуривание корнеобитаемого слоя внесением штаммов почвенных азотфиксирующих и фосфоррастворяющих бактерий (Красавин и др., 1988). Использован микробиологический препарат «БИОР-АВ» (в дальнейшем — МБП) института ВНИОСуголь (г. Пермь).

Экспериментальные посевы были произведены в августе 1993 г. на поверхности дамбы гидроотвала в следующих вариантах: опыт (вскрышные глинистые породы + МБП), контроль (вскрышные глинистые породы). На вариантах закладывались по три делянки площадью 25 м² (5 × 5). Каждый вариант экспериментального посева рассматривался как культурфитоценоз, в пределах которого вся совокупность особей культурного вида рассматривалась нами как ценопопуляция (Работнов, 1978). Для изучения трансформации экспериментальных посевов на каждом варианте были заложены постоянные учетные площадки площадью 0,25 м² в количестве 15 шт., оценивались проективное покрытие, покрытие культурой, плотность ценопопуляций, продуктивность, отслеживались число поселившихся видов и их встречаемость, выявлялось полное видовое разнообразие.

Испытано 8 видов многолетних трав в одновидовых посевах (*Festuca pratensis* и *F. arundinacea* Schreb., *Dactylis glomerata*, *Amoria repens* и в травосмесях: злаковая (*Bromopsis inermis* и *Elymus fibrosus*; злаково-бобовая (*Phleum pratense* и *Amoria hybrida* (L.) C. Presl).

Проективное
покрытие, %

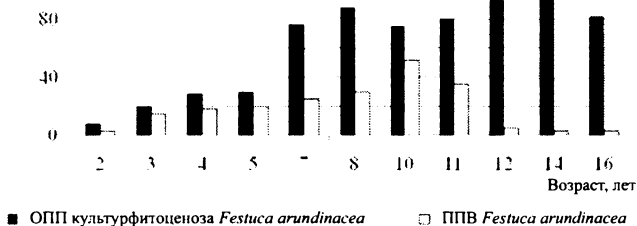
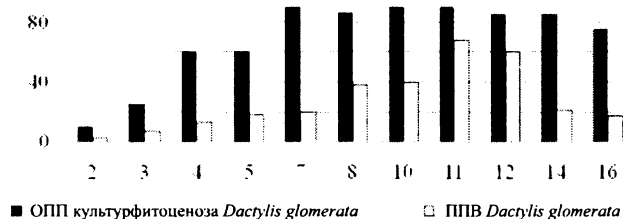
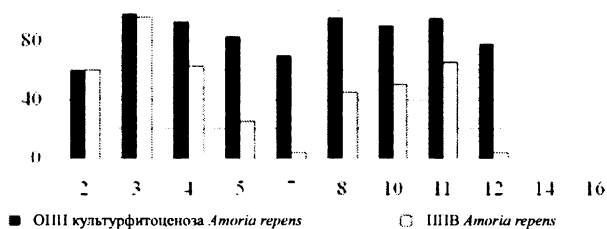
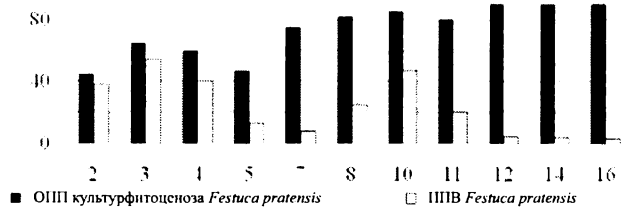


Рис. 1. Динамика проективного покрытия культурных видов в экспериментальных посевах

Мониторинг формирования культурфитоценозов. На экспериментальных посевах проводился в первые 10 лет ежегодный мониторинг всех высеянных культур, а далее, на 12, 14, 16, 18-й годы существования ценопопуляций, — наиболее перспективных для хозяйственного использования видов. Проведенный сравнительный анализ динамики таких показателей, как общее проективное покрытие (ОПП) и проективное покрытие вида (ППВ), показал, что на малопригодных глинах формирование культурфитоценозов высеянных трав происходит разными темпами, в зависимости от индивидуальных особенностей развития вида (рис. 1).

Уже на 2-й год жизни посевы *Festuca pratensis* и *Amoria repens* имели высокие показатели покрытия, соответствующие стадии фитоценоза (Курочкина, Вухрер, 1987): посев *Festuca pratensis* — ОПП 40–45 %, *Amoria repens* — ОПП 60 %, при этом ППВ составляло 40 и 60 % соответственно.

За исследуемый период у *Festuca pratensis* и *Amoria repens* зафиксированы две волны или смены поколений. Отмечено, что продолжительность жизни одного поколения *Amoria repens* составила 5 лет, *Festuca pratensis* — 7 лет, что согласуется с литературными данными по продолжительности жизни этих видов для таежной зоны. Третьей волны не наблюдалось, отмечалось резкое снижение ППВ этих видов после 13 лет жизни посевов.

В 2010 г. (18-й год существования посева) вместо посевов *Festuca pratensis* отмечен разнотравно-злаковый фитоценоз (ОПП 85–90 %) с единичными особями *Festuca pratensis* (ППВ < 1 %). Наряду с видами-внедренцами на территории посевов исследуемых видов расселились *Bromopsis inermis*, *Phleum pratense*, *Elymus fibrosus*. На месте посевов *Amoria repens* сформировался злаково-сорноразнотравный фитоценоз (ОПП 80–85 %), отмечена полная элиминация культивируемого вида.

Очень медленно развивались на малопригодных глинах посевы *Dactylis glomerata* и *Festuca arundinacea*. Фитоценозы в посевах этих культур сформировались на 3-й год у *Dactylis glomerata*, на 6-й — у *Festuca arundinacea*, при этом доля участия изучаемых видов не превышала 20–25 %. Максимальное значение ППВ было отмечено у *Dactylis glomerata* на 11-й год, у *Festuca arundinacea* — на 10-й год жизни.

При обследовании в 2010 г. отмечалась хорошая сохранность посева *Dactylis glomerata* (ОПП 90 %, ППВ 25 %) и почти полная деградация посева *Festuca arundinacea* (ОПП 85 %, ППВ < 3 %).

Фитоценоз в посеве злаково-бобовой травосмеси (*Phleum pratense* + *Amoria hybrida*) сформировался на 3-й год, при этом значительная доля покрытия приходилась на культурные виды (рис. 2). *Phleum pratense*

показала средний темп развития: максимальное проективное покрытие вида 35–40 % было отмечено на 7–8-й год.

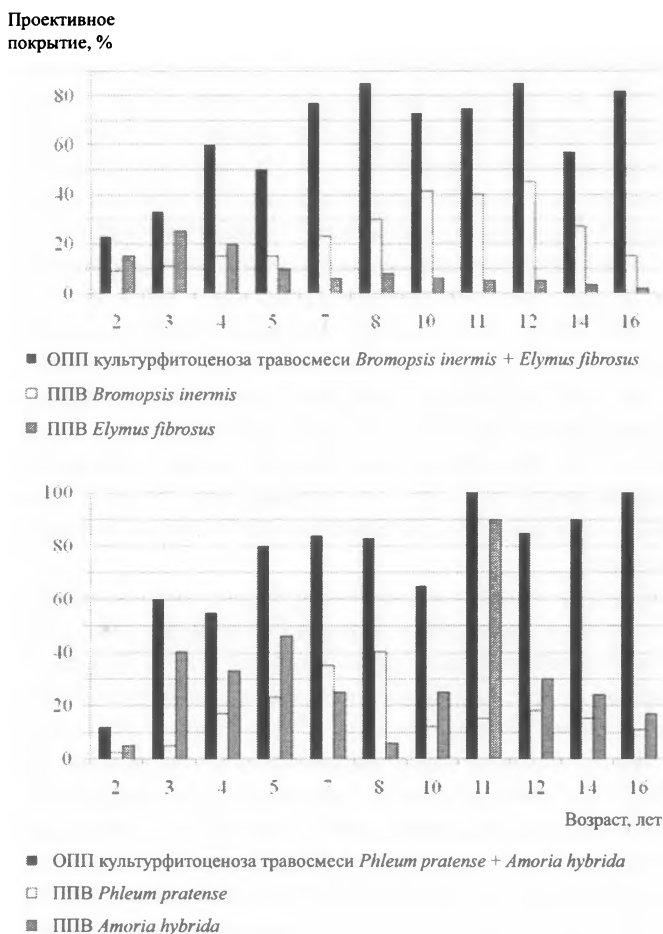


Рис. 2. Динамика проективного покрытия культурных видов в смешанных посевах

Известно, что *Phleum pratense* в смеси с *Amoria hybrida* развивается и растет очень медленно (Корякина, 1964). Это объясняет постепенное увеличение показателя проективного покрытия *Phleum pratense* до 7-го года формирования и его рост на 10-й год после снижения обилия *Amoria hybrida*.

За исследуемый период у *Amoria hybrida* зафиксированы две смены поколений, с продолжительностью жизни одного поколения 7–8 лет, что согласуется с литературными данными по продолжительности жизни этого вида для таежной зоны.

Разные темпы развития показали компоненты травосмеси *Bromopsis inermis* + *Elymus fibrosus*: у *Elymus* максимальное ППВ (25 %) отмечено на 3–4-й год и далее медленное выпадение и расселение по близлежащим делянкам, у *Bromopsis* — постепенный рост проективного покрытия к 10–12-му году (ППВ 45–50 %).

При обследовании в 2010 г. хорошая сохранность в посеве злаковой травосмеси с ОПП 85–90 % отмечалась только у *Bromopsis inermis* (ППВ 20–25 %), с единичными особями *Elymus fibrosus* (ППВ < 1 %).

Таким образом, на малопригодных глинистых породах *Festuca pratensis*, *Elymus fibrosus* показали средний темп развития и долголетия (6–8-летний жизненный цикл), а такие виды, как *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*, *Dactylis glomerata*, *Bromopsis inermis*, можно отнести к видам с медленным темпом развития (10 и более лет). *Amoria repens* и *A. hybrida* — виды, дающие средний темп развития и долголетия (5–8 лет), достигают полного развития на 3-й год после посева.

В результате 18-летнего мониторинга формирования культурфитоценозов выявлено, что экспериментальные посевы многолетних трав имеют разную степень трансформированности. Наиболее долговременны и устойчивы в условиях гидроотвала такие культурные виды и их сообщества, как *Dactylis glomerata*, *Bromopsis inermis*, *Phleum pratense* в смеси с *Amoria hybrida*.

Некоторые результаты применения МБП. Исследования показали, что рассматриваемые ценопопуляции многолетних трав проявляют в экспериментальных посевах на малопригодных глинах некоторую видоспецифичность по реакции на внесение МБП. В целом это нашло отражение в формировании пространственной, морфологической структуры, продукции культурфитоценозов и др.

Опытные посевы отличались от контрольных по проективному покрытию, плотности побегов на единицу площади. Наиболее четко это проявляется у таких видов, как *Festuca pratensis* и *F. arundinacea*, и в посевах злаково-бобовой травосмеси у *Phleum pratense*. Культурфитоценозы опытного варианта посевов (с МБП) *Festuca pratensis* уже на 2-й год жизни значительно превосходили контрольный вариант по проективному покрытию вида, плотности побегов и доле генеративных побегов (табл. 13).

Так, в опытных посевах *Festuca pratensis* плотность побегов достигала на 2-й год жизни 602 шт./0,25 м², в контроле — 415 шт./0,25 м², среди которых генеративные побеги в опыте составляли 4,6 %, а в контроле всего 0,6 %. Но в дальнейшем, как показали исследования, эта культура сильно страдает от видов-внедренцев, в частности распространения особей *Cirsium setosum* в опытном варианте, поэтому показатели по вариантам сравнивались и даже превалировали в контрольном варианте.

Оба варианта посевов *Festuca arundinacea* и злаково-бобовой травосмеси на 2-й год имели очень низкие показатели проективного покрытия площадок и высеянных культур, но отличались большей плотностью побегов *Festuca arundinacea* и *Phleum pratense* в опытных вариантах. Плотность побегов *Festuca arundinacea* составляла в опыте 252 шт./0,25 м², в контроле всего 140 шт./0,25 м², генеративные побеги в вариантах отсутствовали.

Плотность побегов *Phleum pratense* в аналогичный период составляла в опыте 215 шт./0,25 м², в контроле всего 65 шт./0,25 м², особи *Phleum pratense* также еще не достигли генеративного состояния. Повышенные показатели в опытном варианте проективного покрытия вида, плотности побегов отмечались у данных злаков до 5-го года формирования культурфитоценозов.

Исследования показали, что «предстартовое» внесение МБП благоприятно сказывается в первые годы на формирование генеративной сферы злаковых видов. Наряду с посевами *Festuca pratensis* на 2-й год жизни отмечалось плодоношение у *Elymus fibrosus*, при этом доля генеративных побегов в опытном варианте была выше в 1,4 раза. С 3-го по 5-й год отмечено превышение доли генеративных побегов в опытных вариантах и у остальных испытываемых злаковых культур (табл. 14).

Сравнительный анализ морфологической структуры вегетативных побегов ценобионтов 2-го года жизни не выявил достоверных различий между вариантами у большинства злаковых видов, кроме *Phleum pratense*. Анализ морфологической структуры генеративных побегов ценобионтов 3-го года жизни по ряду признаков генеративной сферы показал достоверное различие опытного и контрольного варианта по таким показателям, как длина соцветий, количество веточек, вес соцветия, у всех испытываемых видов, кроме *Bromopsis inermis*.

Проведенный аналогичный анализ генеративных побегов ценобионтов 8-го года жизни показал, что достоверные различия в пользу опытного варианта имели ценопопуляции *Festuca arundinacea* по количеству цветков и плодов, *Elymus fibrosus* — длине соцветия, количеству колосков, *Dactylis glomerata* — длине и весу соцветия (табл. 15).

Таблица 14

Формирование пространственной структуры культурфитоценозов

Показатель	2-й год		5-й год		10-й год		14 лет
	Опыт	Конт- роль	Опыт	Конт- роль	Опыт	Конт- роль	Посе- вы в целом
<i>Посевы Festuca arundinacea</i>							
ОПП, %	6	5	40	17	83	79	80–85
ППВ, %	5	4	23	12	25	22	–
Плотность побегов, шт./м ²	1 006	560	228,4	198,8	340	338	–
Доля генеративных побегов, %	–	–	20,4	14,7	15,7	31,2	–
<i>Посев травосмеси Bromopsis inermis + Elymus fibrosus</i>							
ОПП, %	22	17	65	55	130	71	80–85
ППВ, %:							
<i>Bromopsis inermis</i>	8	7	–	–	27	18	27
<i>Elymus fibrosus</i>	15	12	–	–	7	5	5
Плотность побегов, шт./м ² :							
<i>Bromopsis inermis</i>	300	440	166	97	236	269	74
<i>Elymus fibrosus</i>	503	1 110	129	105	56	99	44
Доля генеративных побегов, %:							
<i>Bromopsis inermis</i>	–	–	9,0	6,3	27,1	43,1	14,7
<i>Elymus fibrosus</i>	2,5	1,8	9,0	4,3	32,1	34,3	2,7

Об улучшении условий минерального питания в опытных вариантах свидетельствуют более высокие показатели воздушно-сухой биомассы культивируемых видов в первые годы их выращивания и в дальнейшем сформировавшихся культурфитоценозов.

Для более детальной оценки количества полезной, используемой в хозяйственной практике органической массы (сена) была проанализирована продуктивность 8-летних культурфитоценозов, которая в нашем случае являлась лишь частью биологической производительности фитоценозов.

Более высокие показатели фитомассы и весовой доли культурного вида показали посевы опытных вариантов *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Bromopsis inermis* (табл. 16).

Среди культурфитоценозов наибольшая величина воздушно-сухой фитомассы отмечена в опытном варианте *Festuca arundinacea* — 376,73 г/м² (37,7 ц/га), в контрольном — 204,33 г/м² (20,4 ц/га). Надземная фитомасса *Festuca arundinacea* в опытном варианте почти в 1,6 раза выше, чем в контрольном варианте (соответственно 60,18 и 37,80 г/м²), но при этом на долю культурного вида приходится всего 17,5 и 18,5 % соответственно.

Уровни значимости различий по t-test между значениями параметров морфологической структуры опытных и контрольных ценопопуляций многолетних трав

Вид	<i>Festuca pratensis</i>		<i>Festuca arundinacea</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Elymus fibrosus</i>		<i>Phleum pratense</i>	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
3-й год жизни										
Длина соцветия, см	14,3**	12,4	12,5*	11,9	8,2**	6,5	10,9	11,0	3,1**	2,2
Количество веточек, шт.	16,1*	14,8	15,5**	13,8	8,5**	6,6	—	—	—	—
Количество колосков, шт.	24,6**	21,1	21,4**	18,8	—	—	16,0	16,6	—	—
Количество цветков, шт.	100,1**	73,3	84,4*	78,7	143,1	106,7	25,6	26,1	—	—
Количество плодов, шт.	81,7**	55,5	69,6**	55,7	97,2**	31,0	19,9	20,9	—	—
Вес воздушно-сухой массы соцветия, г	0,21**	0,15	0,18**	0,16	0,20**	0,13	0,15**	0,12	0,14*	0,10
8-й год жизни										
Длина соцветия, см	13,7	14,7**	14,8	14,6	12,3*	11,7	10,2*	9,9	4,7*	4,5
Количество веточек, шт.	8,2	10,0**	5,9	9,0**	5,8	6,7*	—	—	—	—
Количество колосков, шт.	24,0	24,2	24,4	26,9**	—	—	14,4*	14,0	—	—
Количество цветков, шт.	78,9	88,0	118,6**	98,8	318,3	309,4	29,2	28,2	—	—
Количество плодов, шт.	46,8	45,0	73,7**	64,3	133,9	133,6	23,5	22,9	—	—
Вес воздушно-сухой массы соцветия, г	0,15	0,15	0,22	0,20	0,37**	0,31	0,13	0,13	0,15	0,16

* и ** — уровни значимости различий, $p < 0,05$; $p < 0,001$ соответственно.

Культурфитоценозы *Festuca pratensis* характеризуются примерно одинаковыми значениями надземной фитомассы и долей культурного вида по вариантам посева. Культурфитоценозы *Dactylis glomerata* отличаются высокими величинами надземной фитомассы в опытном варианте по сравнению с контрольным, соответственно 339,2 г/м² (34 ц/га) и 290,75 г/м² (29 ц/га), доля культурного вида составляет соответственно 69 и 64,2 %.

Таблица 16

Показатели веса воздушно-сухой надземной массы, г/м²

Культурфитоценоз	2 года		8 лет		
	Культурный вид	lim	Общая	Культурный вид	lim
<i>Festuca pratensis</i> :					
опыт	155,0	0–517,0	199,2	49,7	15,1–109,8
контроль	75,0	4,0–234,0	204,6	53,8	19,9–86,4
<i>Festuca arundinacea</i> :					
опыт	26,0	0–88,0	376,7	60,2	34,7–84,5
контроль	12,0	1–48,0	204,3	37,8	11,2–161,0
<i>Dactylis glomerata</i> :					
опыт	7,0	0–54,0	339,2	215,3	95,5–339
контроль	15,0	5–28,0	290,8	186,6	50–397
<i>Phleum pratense</i> / <i>Amoria hybrida</i> :					
опыт	<u>14,0</u>	<u>0–34,0</u>	328,4	<u>193,6</u>	<u>108,6–465,6</u>
	–	–		12,8	1,7–28,4
контроль	<u>2,0</u>	<u>0–7,0</u>	320,8	<u>192,6</u>	<u>96,6–315,2</u>
	–	–		32,2	0–321,9
<i>Bromopsis inermis</i> / <i>Elymus fibrosus</i> :					
опыт	<u>15,0</u>	<u>0–58,0</u>	282,6	<u>65,6</u>	<u>5,0–154,2</u>
	16,0	0–97,0		23,9	1,0–81,2
контроль	<u>12,0</u>	<u>0–28,0</u>	263,8	<u>78,5</u>	<u>6,0–251,0</u>
	32,0	0–148,0		10,2	0,5–15,2

Анализ продуктивности культурфитоценозов травосмеси *Bromopsis inermis* + *Elymus fibrosus* показал, что общая надземная фитомасса опытного варианта незначительно превышает фитомассу контрольного варианта, соответственно 282,6 г/м² (28 ц/га) и 263,8 г/м² (26 ц/га), большая доля культурного компонента также в опытном варианте. Следует отметить, что надземная фитомасса *Bromopsis inermis* и его весовая доля выше в контрольном варианте, соответственно в опыте и контроле 65,6 г/м² (доля 23,2 %) и 78,50 г/м² (26,8 %), у *Elymus fibrosus*, наоборот, более высокие показатели в опытном варианте, соответственно 23,9 г/м² (8,5 %) и 4,80 г/м² (1,8 %).

Таким образом, проведенный анализ структуры фитомассы по общим и долевым показателям исследуемых 8-летних культурфитоценозов

указывает на довольно длительное положительное влияние внесения МБП при рекультивации малопригодных по обеспеченности элементами питания растений глинистых пород.

Сравнительный анализ показателей надземной фитомассы, в том числе взятой с разных участков гидроотвала (Филимонова, 2006), показывает, что производительность и кормовое достоинство культурфитоценозов выше, чем у сообществ естественного зарастания участков гидроотвала. Средняя величина надземной фитомассы культурфитоценозов в 2–3 раза выше фитомассы, взятой на участках самозарастания гидроотвала. В целом производительность травостоев культивируемых 8-летних сообществ на гидроотвале по общему запасу надземной фитомассы находится близко к уровню производительности естественных лугов, произрастающих в районе расположения месторождения.

Анализ посевных качеств семян, от которых во многом зависят урожайность, долговечность, устойчивость ценозов, а главное — их самовозобновление, показал, что семена с опытных посевов обладают более высокой энергией прорастания и всхожестью I–II класса (ГОСТ 12036-66 – ГОСТ 12047-66, 1978), показатели по весу 1 000 семян близки к литературным данным (табл. 17).

Таблица 17

Вес 1 000 семян использованных видов многолетних трав, г

Вид	3-й год		10-й год		Вес 1 000 семян по литературным данным
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	
<i>Festuca pratensis</i>	2,43 ± 0,11	2,13 ± 0,08	2,6 ± 0,01	2,4 ± 0,01	1,85 ¹
<i>Festuca arundinacea</i>	2,36 ± 0,04	2,28 ± 0,11	2,6 ± 0,01	2,5 ± 0,01	–
<i>Dactylis glomerata</i>	0,98 ± 0,04	0,88 ± 0,01	0,6 ± 0,02	0,6 ± ,03	1,2 ²
<i>Bromopsis inermis</i>	3,72 ± 0,01	3,45 ± 0,03	3,2 ± 0,10	3,4 ± 0,08	3,5 ² 4,25 ³
<i>Elymus fibrosus</i>	4,28 ± 0,14	4,29 ± 0,18	4,3 ± 0,12	3,6 ± 0,11	4,0–4,5 ¹
<i>Phleum pratense</i>	0,61 ± 0,01	0,55 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,57 ¹ 0,42 ²
<i>Amoria repens</i>	0,71 ± 0,01	0,69 ± 0,01	–	–	0,69 ²

Примечания: 1 — Корякина, 1964; 2 — Андреев, 1966; 3 — Ларин, 1964.

Вес 1 000 семян является относительно стабильным показателем для каждого вида. К резкому снижению этого показателя могут привести только исключительно неблагоприятные условия произрастания. Наши наблюдения показали, что средний вес 1 000 семян *Bromopsis inermis* колеблется по вариантам от 3,20 до 3,72 г, наибольший вес приходится на опытный вариант (наблюдения 3-го года жизни). Это несколько ниже

показателя по литературным данным: вес 1 000 семян *Bromopsis inermis* при почвенной культуре составляет в среднем 4,25 г с колебаниями от 3,08 до 5,24 г, причем колебания эти могут происходить по годам жизни в зависимости от погодных условий.

Вес 1 000 семян *Elymus fibrosus* колеблется от 2,4 до 4,5 г в зависимости от экологических условий (по литературным данным, вес 1 000 семян от 4,0 до 4,5 г). Как показали исследования, вес семян зависит от места произрастания культур, например, самые высокие показатели веса 1 000 семян *Elymus fibrosus* получены у особей, произрастающих на склоне дамбы, — 4,5 г, чуть ниже в опытном варианте посева — 4,3 г, в контроле — 3,6 г и самый малый вес на поверхности гидроотвала — 2,4 г.

Средний вес 1 000 семян *Dactylis glomerata* во все годы наблюдений значительно меньше значений по литературным данным, которые для *Dactylis glomerata* составляют 1,24 г, например, на 3-й год жизни вес семян *Dactylis glomerata* в опытном варианте — 0,98 г, в контроле — 0,88 г, а на 10-й год жизни отмечено снижение веса семян до 0,6 г в обоих вариантах.

У *Phleum pratense* средний вес 1 000 семян в опытном варианте на 3-й год жизни составлял 0,61 г, в контроле — 0,57 г, что сопоставимо с литературными данными, однако возможны колебания в зависимости от погодных условий, так, на 10-й год жизни отмечено снижение веса семян до 0,16 г.

Средний вес 1 000 семян *Festuca arundinacea* составил 2,44 г, а *Festuca pratensis* — 2,40 г. По литературным данным, абсолютный вес семян *Festuca pratensis* составляет: культурной в среднем 1,85 г, дикорастущей — 1,53 г.

Исследования посевных качеств семян испытанных культур показали, что семена с опытных посевов обладают более высокими показателями по энергии прорастания (табл. 18). Так, семена *Festuca arundinacea* урожая 10-го года жизни обладали следующей энергией прорастания: в опытном варианте — 92,3 %, в контрольном — 87,8 %; *Festuca pratensis* — соответственно 89,0 и 81,0 %. У других видов (*Bromopsis inermis* и *Elymus fibrosus*, *Phleum pratense*) эти различия не проявились.

Семена *Festuca pratensis* и *F. arundinacea*, *Bromopsis inermis* в испытываемый период показали высокий процент всхожести (от 71,3 до 99,0 %), ниже всхожесть семян *Dactylis glomerata* (44,5–58,0 %). Посевные качества семян *Phleum pratense* урожаев 3-го и 10-го годов сильно различаются, что дает право предположить сильную зависимость их качества от погодных условий и возраста растений, что требует дальнейших целевых наблюдений.

**Энергия прорастания и всхожесть семян используемых видов
многолетних трав, %**

Вид	3-й год				10-й год			
	Энергия прорастания		Всхожесть		Энергия прорастания		Всхожесть	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
<i>Festuca pratensis</i>	41,7	43,7	95,2	93,2	89	81	95,8	90,7
<i>Festuca arundinacea</i>	80,5	88,8	94	96,3	92,3	87,8	99	98,5
<i>Dactylis glomerata</i>	42	37,5	54	44,5	23	22	57	58
<i>Bromopsis inermis</i>	86,2	66,0	96	90	66	65,2	89	71,3
<i>Elymus fibrosus</i>	—	—	—	—	8	6	33,3	30,3
<i>Phleum pratense</i>	79	61,8	87	90,3	11	9	27	26

Внесение препарата благоприятно сказывается также и на поселении видов-внедренцев, так, опытные посевы рассматриваемых культур в большинстве случаев характеризовались большим числом произрастающих на средней площадке и на варианте в целом видов по сравнению с контрольным вариантом.

Таким образом, исследование показало, что «предстартовое» внесение микробиологического препарата способствует сохранению всходов, благоприятно влияет на рост и развитие культивируемых видов, способствует сохранению биоразнообразия растительных сообществ.

Высокие посевные качества семян растений, выращенных на гидроотвале, характеризуют потенциальные возможности семенного возобновления, что очень важно при самовозобновлении созданных на отвалах многолетних продуктивных культурфитоценозов.

Сравнительный анализ культурфитоценозов *Bromopsis inermis*. *Bromopsis inermis* — наиболее ценный в мелиоративном и кормовом отношении корневищный злак, отличается своей широкой пластичностью и приспособляемостью. Проведен сравнительный анализ культурфитоценоза и агрофитоценоза *Bromopsis* на разных субстратах: вариант I — ценопопуляция (ЦП), произрастающая на глинистом субстрате дамбы гидроотвала Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота; вариант II — полевые сельскохозяйственные угодья с посевом этой культуры для силосования (контроль) (пос. Шурала). Участок отвала рекультивирован без нанесения потенциально плодородного грунта.

Bromopsis inermis является длиннокорневищным злаком, поэтому для изучения возрастной структуры ценопопуляции и морфологических

особенностей данного вида в качестве счетной единицы — ценобионта брались единичные парциальные побеги.

Для выявления структуры и плотности ЦП *Bromopsis inermis* были заложены ленточные трансекты. В результате проведенных исследований было выявлено, что среднее значение ППВ *Bromopsis* ценопопуляций гидроотвала составило 26,7 % при ОПП 56,7 %. В контроле средние показатели как ОПП, так и ППВ *Bromopsis* учетных площадок выше (табл. 19).

Таблица 19

**Характеристика культурфитоценозов *Bromopsis inermis*
(по вариантам)**

Показатель	Значения	Вариант I	Вариант II
ОПП травянистых растений в культурфитоценозе, %	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	56,7 30–70	68,6 55–80
ППВ <i>Bromopsis inermis</i> , %	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	26,7 7–40	28,4 4–45
Возрастная структура <i>Bromopsis</i> : генеративные побеги, шт./м ²	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	10,8 0–24	9,2 0–16
вегетативные побеги, шт./м ²	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	62,8 24–108	20–46 126,4
Количество побегов ЦП <i>Bromopsis</i> , шт./м ²	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	73,6 24–132	80–200 135,6
Величина надземной биомассы, г/м ²	$X_{\text{lim}}^{\text{cp}}$	91,2 48,8–132,4	180,0 149,6–264,0

В пространственной структуре культурфитоценоза на дамбе гидроотвала значительную роль играют *Bromopsis inermis*, *Elymus fibrosus* (обилие по Друде $\text{cop}_1 - \text{cop}_2$), *Tussilago farfara* L., *Lathyrus pratensis* (cop_1). В контрольном варианте *Bromopsis inermis* ($\text{cop}_1 - \text{cop}_2$), *Amoria hybrida* (cop_1 gr), *Phleum pratense*, *Plantago major* L. ($\text{sp} - \text{cop}_1$).

При рассмотрении возрастной структуры ЦП *Bromopsis inermis*, произрастающих на разных субстратах, выявлено, что число вегетативных ценобионтов превышает генеративные в 5,8 раза — на дамбе гидроотвала и в 13,7 раза — в контрольном варианте.

Bromopsis inermis распределен в изучаемых ценопопуляциях более или менее равномерно. Плотность ЦП в варианте I составила 73,6 шт./м², что в 1,8 раза выше плотности контрольной ЦП (варианта II), произрастающей на почве (135,6 шт./м²).

Наибольшая величина воздушно-сухой фитомассы отмечена в контрольном варианте (180,0 г/м² [18,0 ц/га]), что в 2 раза больше величины фитомассы в культурфитоценозе варианта I (91,2 г/м² [9,12 ц/га]). Более подробный анализ участия *Bromopsis inermis* в общей структуре назем-

ной фитомассы показал, что доля изучаемого вида выше в культурфитоценозе контрольного варианта II (70 %), немногим меньше на дамбе гидроотвала (65 %).

Соотношение по хозяйственным группам в культурфитоценозе варианта I (злаки/бобовые/разнотравье) характеризовалось, при значительной доле злаков, почти равными долями бобовых и разнотравья, соответственно 78/11,5/10,5 %. В контрольном варианте II резко снижена доля разнотравья, соотношение соответственно 80,6/18,3/1,1 %.

Проведено изучение морфологической структуры ценопопуляций (табл. 20). Анализ генеративных побегов *Bromopsis inermis* проводился по 14 признакам, вегетативных — по 5. Для сравнения изменчивости различных признаков был вычислен коэффициент вариации (C_v , %). Групп признаков с высокими значениями C_v не выявлено. Наиболее мощные по большинству параметров как вегетативные, так и генеративные побеги *Bromopsis* были собраны в контрольном варианте.

Таблица 20

Некоторые биометрические показатели генеративных ценобионтов *Bromopsis inermis* (по вариантам)

Показатель	Вариант I			Вариант II		
	$X_{cp} \pm m$	lim	C_v , %	$X_{cp} \pm m$	lim	C_v , %
Высота побега, см	113,0 \pm 1,37	84,3–159	11,6	134,8 \pm 1,6	95,5–196,5	12,5
Количество узлов, шт.	5,7 \pm 0,09	4–9	14,9	5,3 \pm 0,12	3–10	24,2
Количество зеленых листьев, шт.	3,8 \pm 0,11	0–6	29,0	2,8 \pm 0,13	0–8	51,7
Размер листа, см: длина предфлажья ширина предфлажья	16,95 \pm 0,33 0,46 \pm 0,01	11,5–26 0,2–0,9	18,7 27,3	21,8 \pm 0,38 0,56 \pm 0,01	12,4–33,5 0,3–0,9	18,3 19,1
Длина соцветия, см	14,7 \pm 0,22	10–19	14,5	16,0 \pm 0,25	10,2–25,5	16,3
Количество веточек в соцветии, шт.	22,6 \pm 0,47	11–36	19,8	26,0 \pm 0,68	9–47	27,8
Количество колосков в соцветии, шт.	32,3 \pm 0,97	16–67	28,5	41,7 \pm 1,62	16–97	41,1
Количество цветков в соцветии, шт.	178,2 \pm 6,66	76–425	35,6	226,7 \pm 9,04	33–493	42,5
Вес воздушно-сухой массы, г: соцветия побега	0,42 \pm 0,02 2,42 \pm 0,09	0,11–1,01 1,03–5,1	35,5 33,9	0,57 \pm 0,03 –	0,09–1,54 –	49,9 –

Для сравнения ценобионтов также были использованы t-test и дисперсионный анализ. Проведенный t-test показал, что наблюдается достоверное отличие ($p < 0,005$) варианта I с нарушенных территорий от

контроля (вариант II) по десяти основным признакам, отвечающим за мощность растения и его репродуктивную сферу.

Проведенный анализ качества семян показал, что *Bromopsis inermis* образует доброкачественные семена. Энергия прорастания семян составила 81,75 % с нарушенной территории и 84,5 % — с поля. Всхожесть семян также высока, соответственно 86,25 и 91,5 %. Динамика прорастания семян *Bromopsis inermis*, собранных на нарушенной территории и в агрофитоценозе, практически совпадает.

Оценка экспериментального опыта биологической рекультивации малопригодных глинистых субстратов показала, что посев *Bromopsis inermis* является перспективным при восстановлении подобных нарушенных земель.

Формирование культурфитоценозов *Dactylis glomerata*. Пространственная структура ценопопуляции есть совокупный результат различных популяционных, биоценологических, экотопических влияний на элементы ценопопуляций.

На 2-й год формирования отмечена довольно большая разница плотности побегов по вариантам посева (на 1 м² в опыте с МБП — 670 побегов, в контроле на глине — 1 433 побега). Большая часть растений находилась на ранних этапах онтогенеза (проростки, всходы, ювенильные и имматурные растения).

Культурфитоценозы в обоих вариантах имели неоднородную горизонтальную структуру: всходы были сгруппированы по микропонижениям рельефа, а в опытном варианте, по-видимому, частично смыты. В целом размещение культурного вида по вариантам — равномерно-групповое.

В последующие два года в обоих вариантах, но особенно в контрольном, отмечалось многочисленное выпадение особей *Dactylis glomerata*, в результате которого на 5-й год наблюдений показатель плотности побегов почти выровнялся и составил в опытном варианте — 254,0 шт./м², в контрольном — 274,8 шт./м², при этом в опыте доля генеративных побегов была выше в 1,9 раза (табл. 21).

На 10-й год более высокие показатели плотности побегов отмечены в опытном варианте. Общее число побегов *Dactylis glomerata* в опытном варианте составило 419 шт./м², в контрольном варианте — 310 шт./м², при этом доля генеративных побегов была в опыте 21 % и несколько выше в контрольном варианте — 24,8 %. Помимо экспериментальных ценопопуляций *Dactylis glomerata* активно расселяется по территории прилегающего к посевам полигона, где плотность побегов достигает 214,8 шт./м², а доля генеративных побегов — 27,6 % (табл. 22).

Таблица 21

Формирование культурфитоценозов *Dactylis glomerata*

Показатель	2-й год		5-й год		10-й год		15 лет
	Опыт	Конт- роль	Опыт	Конт- роль	Опыт	Конт- роль	Посевы в целом
ОПП, %	10	9	32	42	74	84	80
ППВ, %: $X_{\text{сп}}^{\text{lim}}$	4 1-5	5 1-15	13 1-20	13 1-50	35 20-45	45 30-60	21 5-50
Суммарное проективное покрытие, %: $X_{\text{lim}}^{\text{сп}}$	8 3-40	9 3-50	31 15-80	40 5-90	93 52-152	90 52-122	85 60-105
Количество видов в культурфитоценозе, шт.	36	31	26	21	21	30	37
Количество видов, шт./0,25 м ² : $X_{\text{lim}}^{\text{сп}}$	3,7 2-6	2,7 2-5	5,3 3-8	4,1 3-6	4 2-6	3,9 3-7	11,3 6-18
Количество побегов <i>Dactylis glomerata</i> , шт./м ²	670	1 433	254,0	274,8	418,5	309,7	260,8
Доля генеративных по- бегов, %	—	—	7,7	4,1	21,0	24,8	16,1
Вес воздушно-сухой био- массы, г/м ² : всего культурных видов	— 7,0	— 15,0	— 90,0	— 122,3	316,6 215,3	290,5 186,6	242,4 85,6

Таблица 22

Динамика плотности ценопопуляций *Dactylis glomerata*, шт./м²

Ценопопуляции	Среднее количество побегов	Количество побегов			
		Вегетативные		Генеративные	
		$X_{\text{ср}}$	lim	$X_{\text{ср}}$	lim
10-й год жизни					
Опыт	418,5	330,5	68–733	88	28–200
Контроль	309,74	232,6	124–436	77,14	32–168
Полигон	214,8	155,6	64–208	59,2	24–104
15-й год жизни					
Посев (в целом опыт + контроль)	257	215,3	64–374	41,7	8–116
Полигон	155	149,3	44–240	5,7	0–27

Отмечая устойчивость культурфитоценоза *Dactylis glomerata* в условиях произрастания на малопригодном глинистом субстрате, на 13-й год формирования экспериментального посева было проведено более

подробное изучение состояния ценопопуляции в целом, а также в местах распространения этого растения по поверхности полигона.

Данный вид встречается на всех площадках, проективное покрытие изменяется от 5 до 50 %. Размещение особей *Dactylis glomerata* на площади посева равномерное. Несмотря на некоторый спад ОПП, на 13-й год жизни посева плотность побегов на 1 м² составила 244 шт., при этом доля генеративных побегов 16,1 %. Индекс плотности популяции на посеве составляет 15 особей, на выходе — 18 особей.

По возрастной структуре 13-летняя ценопопуляция *Dactylis glomerata* в пределах посева является нормальной. Спектр является двухвершинным — преобладают имматурные особи и особи старого генеративного состояния. В ценопопуляции на поверхности полигона в возрастном спектре преобладают молодые особи, находящиеся в прегенеративном периоде онтогенеза. Следовательно, ценопопуляция относительно устойчива и характеризуется хорошим семенным возобновлением. Это подтверждается результатом анализа качества семян *Dactylis glomerata*: масса 1 000 семян составляет 1,17 г; энергия прорастания — 47 %; всхожесть — 60 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что ценопопуляция занимает устойчивое положение в 1-м ярусе и находится в развивающемся состоянии. *Dactylis glomerata* конкурентоспособна, адаптирована к среде обитания, является доминантом в данном растительном сообществе.

Анализ данных биометрических показателей генеративных побегов *Dactylis glomerata* показал, что признаки довольно устойчивы (табл. 23).

Таблица 23

**Биометрические показатели генеративных
побегов *Dactylis glomerata***

Показатель	Посев			Полигон		
	X _{ср}	lim	Cv, %	X _{ср}	lim	Cv, %
Высота побега, см	115,5	72,5–161	17	96,8	45,5–140,2	36
Количество узлов на удлинённой части побега, шт.	4,6	3–7	15	3,3	1–4	26
Размер листа, см: длина предфлажья ширина предфлажья	19,3 0,49	11–37 0,3–0,5	27 23	18,29 0,53	6,8–27 0,3–0,8	28 21
Длина соцветия, см	10	3,7–21,5	29	9,48	6,5–13,7	22
Количество веточек в соцветии, шт.	5,9	3–9	21	5,81	4–7	17
Длина первой веточки, см	4,6	1–10,5	33	4,68	2,7–7,6	28
Вес воздушно-сухой массы, г: соцветия побега	0,3 1,8	0,05–1,18 0,49–5,0	57 45	– 2,51	– 0,95–5,38	– 50

Функциональная структура культурфитоценоза изучалась на примере микосимбиотрофизма. В посеве на дамбе у всех исследованных особей *Dactylis glomerata* была обнаружена везикуло-арбускулярная микориза. Исследование показало, что все особи являются слабомикотрофными, так как по классификации И. А. Селиванова, И. Ф. Шавкуновой (1973) степень микотрофности у них не превышает 1,7 балла. Максимальные значения степени микотрофности (D) и интенсивности микоризной инфекции (C) в ценопопуляции *Dactylis glomerata* наблюдаются у особей в ювенильном возрастном состоянии, а минимальные — в субсенильном (рис. 3).

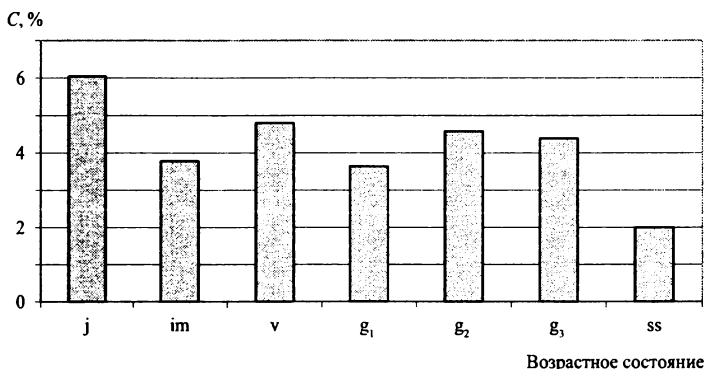


Рис. 3. Зависимость интенсивности микоризной инфекции (C) от возрастного состояния *Dactylis glomerata*

Некоторое увеличение интенсивности и степени микотрофности наблюдается в виргинильном и генеративном (g_2 и g_3) состояниях. На наш взгляд, полученные результаты указывают на связь процессов микоризообразования с физиологическими процессами, происходящими в растительных организмах. Известно, что на ранних стадиях онтогенеза, в частности у однолетников, наблюдается активизация физиологических процессов (Поливариантность..., 2006). При изучении микотрофности злаков в различных зонально-климатических и экологических условиях И. А. Селиванов и Л. Д. Утемова (1968) отмечают увеличение микоризообразующего гриба в тканях корней злаков в фазах кушения, выхода в трубку и колошения.

Таким образом, исследование показало, что в культурфитоценозе *Dactylis glomerata* является слабомикотрофным видом. Показатели микотрофности (степень и интенсивность микоризной инфекции) зависят от возрастного состояния особей. Максимальные значения показателей

микотрофности наблюдаются у особей в ювенильном возрастном состоянии, а минимальные — в субсенильном.

Временная трансформация культурфитоценозов *Dactylis glomerata* отражена в хроноклине постоянства видов, встретившихся на участке посевов в разные периоды формирования. В первые три года наряду с *Dactylis* (встречаемость 100 %) на учетных площадках в посевах имели высокую встречаемость и обилие сорно-рудеральные виды-эксплеренты: *Polygonum aviculare* L. (94 %), *Lepidotheca suaveolens* (Pursh) Nutt. (30 %), *Chenopodium album* L. (20 %), которые быстро заселили свободные от растений пространства (табл. 24).

Таблица 24

**Хроноклин постоянства видов в посеве
Dactylis glomerata, % встречаемости**

Вид	Год формирования					
	2-й	3-й	5-й	7-й	10-й	15 лет
<i>Amoria repens</i>	10	30	60	67	4	0
<i>Chenopodium album</i>	20	20	1	0	0	0
<i>Cirsium setosum</i>	3	47	60	33	13	58
<i>Dactylis glomerata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Elytrigia repens</i>	0	13	17	3	3	33
<i>Lathyrus pratensis</i>	0	3	20	23	73	75
<i>Lepidotheca suaveolens</i>	30	70	7	0.5	0	0
<i>Leucanthemum vulgare</i>	3	1	3	27	7	75
<i>Melilotus albus</i>	4	44	40	77	7	0
<i>Polygonum aviculare</i>	94	83	0.5	0	0	0
<i>Taraxacum officinale</i>	0	3	1	1	24	83
<i>Trifolium pratense</i>	13	24	67	80	23	0
<i>Tussilago farfara</i>	10	57	54	73	77	58
<i>Vicia cracca</i>	0	14	13	27	17	50

В период с 4-го по 8-й год формируется разнотравно-злаково-бобовое сообщество с доминированием бобовых видов: *Trifolium pratense* (sp gr, 80 %), *Melilotus albus* Medik. (сор., 77 %), *Amoria repens* (sp gr, 67 %), но в котором отмечалось усиление влияния *Dactylis glomerata* как вида-эдификатора. К 10-му году отмечалось снижение постоянства указанных видов Fabaceae и выпадение их из травостоя на 15-й год формирования.

К 10-му году и далее по настоящее время на доминирующее положение в травостое выходят Poaceae, среди Fabaceae — *Lathyrus pratensis*, а также виды лугового разнотравья.

К 15-му году культурфитоценоз в целом представлен разнотравно-бобово-злаковым сообществом с преобладанием *Dactylis glomerata* (оби-

лие сор₁–сор₂, встречаемость — 100 %), *Elymus fibrosus* (sp, 75 %), *Phleum pratense* (sp, 67 %), *Poa palustris* L. (sp, 50 %), из разнотравья — *Taraxacum officinale* (sol–sp, 83 %), *Leucanthemum vulgare* Lam. (sp–сор₁, 75 %), *Tussilago farfara* (sp, 58 %), из бобовых — *Lathyrus pratensis* (sp gr, 75 %). Остальные виды встречаются рассеянно или единично, распределение более или менее равномерное.

Таким образом, исследования ценопопуляции *Dactylis glomerata* на гидроотвале Шуралино-Ягодного месторождения показали, что данный вид в условиях гидроотвала является перспективным видом для биологической рекультивации.

Проведенный анализ структуры фитомассы по общим и долевым показателям исследуемых культурфитоценозов указывает на довольно длительное положительное влияние внесения МБП при рекультивации малопригодных по обеспеченности элементами питания растений глинистых пород.

Сравнительный анализ показателей надземной фитомассы, в том числе взятой с разных участков гидроотвала (Филимонова, 2006), показывает, что производительность и кормовое достоинство культурфитоценозов выше, чем у сообществ естественного зарастания участков гидроотвала. Средняя величина надземной фитомассы культурфитоценозов в 2–3 раза выше фитомассы, взятой на участках самозарастания гидроотвала. В целом производительность травостоев культивируемых сообществ на гидроотвале по общему запасу надземной фитомассы находится близко к уровню производительности естественных лугов, произрастающих в районе расположения месторождения.

Рекультивационные мероприятия оказывают существенное влияние на процесс восстановления нарушенных земель и дают возможность разнообразить экотопы и существенно корректировать формирование растительности на техногенных объектах.

1.2. Отвалы перерабатывающей промышленности: золоотвалы тепловых электростанций

Опыт рекультивации золоотвалов на Урале

Интенсификация общественного производства сопровождается усилением эксплуатации природных ресурсов, что ведет к увеличению отрицательного влияния промышленности на природные ландшафты. В настоящее время распространенность техногенных ландшафтов позволяет говорить о замене ими в ряде регионов естественных. Поскольку про-

цессы естественного восстановления нарушенных территорий замедлены, человек вынужден принимать меры по ускорению регенерации или целенаправленному формированию продуктивных искусственных растительных сообществ. Большие площади подобных территорий, их негативное влияние на окружающую среду требуют разработки методов рекультивации.

Одной из форм антропогенного нарушения целостности ландшафта являются золоотвалы тепловых электростанций. Занимая огромные площади, они являются постоянным источником загрязнения воздуха и почвы.

В 1959 г. лабораторией промышленной ботаники биологического факультета Уральского университета им. А. М. Горького по инициативе и под руководством В. В. Тарчевского были начаты исследования по разработке способов биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций. В течение 5–10 лет были изучены начальные этапы формирования растительности на зольных субстратах, не имеющих аналогов в природе (Некоторые особенности..., 1974; Пасынкова, 1974; Тарчевский, 1964; 1966; и др.).

Золоотвалы тепловых электростанций являются своеобразными экотопами, субстрат которых мало пригоден для произрастания растений, т. е. для биологической рекультивации. По классификации Б. П. Колесникова, Г. М. Пикаловой (1974), золоотвалы могут быть отнесены к семейству А — отвалам, образованным минеральными грунтами, классу II — отвалам, сложенным породами и рудами, подвергнутыми частичной или полной переработке, группе «б» — бедным по обеспеченности доступными элементами питания для растений, прежде всего N. Золоотвалы в большинстве относятся к типу отвалов, пригодных для биологической рекультивации после улучшения.

Состав и свойства золы. Установлено, что зола каменных и бурых углей, слагающая золоотвалы, представляет собой специфический минеральный субстрат, физико-химические и микробиологические свойства которого существенно отличаются от почвы. Из факторов, лимитирующих рост и развитие растений на зольном субстрате, основными являются отсутствие в составе субстрата органических веществ и бедность его необходимыми элементами минерального питания (N, K) в доступной для растений форме (Серая, Шубин, 1976). Это же было отмечено М. В. Пасынковой (1974). По физическому строению зола представляет собой бесструктурную, рыхлую, слабосцементированную массу, которая при малейшем ветре поднимается в воздух. Ветровая эрозия выражена на золоотвалах крайне сильно, огромное количество пылевидных частиц

при сильном ветре поднимается в воздух и переносится на большие расстояния, вследствие чего золоотвалы являются источником постоянного загрязнения воздуха, воды и почвы.

По классификации В. В. Тарчевского (1966, 1970), золоотвалы по происхождению относятся к группе мусорных отвалов, по высоте — низкие (не выше 5 м) или средние (до 25 м), по механическому составу — мелкопылеватые или крупнопылеватые с размером частиц до 10–50 мк — 1 мм соответственно. По сложености золоотвалы могут быть как рыхлые, так и плотноплитчатые. Мощность зольных отложений колеблется в зависимости от глубины котлована от 2,8–5 до 10–15 м (Тарчевский, 1964; Хамидулина, 1970). Зольные отложения обычно представлены субстратами светло- или темно-серого цвета, иногда с темными прослойками несгоревших угольных частиц.

По механическому составу зола представлена фракциями песка и пыли, которые не содержат в доступной форме элементов питания растений, что позволяет отнести золу по солевому режиму к бедным субстратам. Механический состав золы золоотвалов Верхнетагильской и Южноуральской ГРЭС представлен в табл. 25.

По валовому химическому составу зола углей в общих чертах соответствует алюмосиликатным образованиям. Содержание SiO_2 в золе

Таблица 25

Механический состав зольного субстрата (расчет в % на воздушно-сухую навеску)

Наименование объекта	Гигроско- пическая влага	Потеря при обработке НСI	Количество частиц						Сумма фракций		Наиме- нование субстрата по меха- ническому составу
			Песок (диаметр, мм)		Пыль (диаметр, мм)		Ил	Физи- ческая глина ($< 0,01$)	Физи- ческий песок ($> 0,01$)		
			Средний 1–0,25	Мелкий 0,25–0,05	Крупная 0,05–0,01	Средняя 0,01–0,005				Мелкая 0,005–0,001	
Золоотвал Верхнетатиль- ской ГРЭС	–	19,47	0,53	4,23	56,08	5,45	9,33	4,91	60,84	19,69	Супесь
Золоотвал Южноуральской ГРЭС	0,60	14,53	27,70	41,26	6,74	3,60	2,30	3,68	75,84	9,58	Песок

различных углей колеблется от 40,5 до 50,3 % и равно содержанию ее в обыкновенном черноземе; Al_2O_3 — от 12,9 до 32,4 и Fe_2O_3 — от 5,5 до 17,7 %, что в 1,4–2,1 раза превышает содержание этих элементов в черноземе (Пасынкова, 1974).

Условия воздухообеспечения вполне благоприятны. Аэрация золы от 40 до 58 %. Водопроницаемость золы в 5–8 раз выше, чем почвы.

Зола углей обладает небольшой емкостью поглощения, аналогичной легким почвам, что объясняется ее обедненностью высокодисперсными органическими веществами и илистыми частицами.

Поглотительная способность верхних слоев толщи золоотвалов может быть увеличена посредством нанесения на поверхность золы торфа, почвы, почвогрунта, внесения минеральных удобрений, полива сточными водами (Панин, Ковалев, 1970; Фирсова, Кулай, 1966).

Реакция среды (pH) золы углей колеблется от 5,9 до 8,5 (от слабокислой до щелочной). Зола углей — субстрат незасоленный. Спектральный анализ показал присутствие в золе углей до 30 различных макро- и микроэлементов, некоторые из которых жизненно необходимы для растений (Ca, Ba, Mn, Fe). Некоторые авторы (Holliday et al., 1955; Rees, Sidrak, 1955), отмечая содержание в золе в больших количествах Al, Mn, Fe, Ni, считают, что это влияет на рост растений, вызывает у них изменение окраски листьев (пурпурные пятна) и повышенную ломкость стеблей, увеличение названных элементов в тканях растений.

Зола углей относится к слаботеплопроводным субстратам со значительной амплитудой колебаний температуры на поверхности и глубине и ясно выраженным отрицательным градиентом температур. Разность эта на глубине 5 см от поверхности может достигать 10–16 °C. На большей глубине тепловая волна затухает и изменение температуры идет плавно. Плохая теплоотдача в глубине толщи золы связана с сухостью и рыхлым состоянием верхнего слоя и более высокой влажностью нижних слоев (Беспрозвана, 1964; Пикалова, 1966; Тарчевский, 1964; Хамидулина, 1964а, б).

Зольные субстраты обладают хорошей скважностью. Водный режим золоотвалов во многом зависит от их зонально-географического положения. Так, во влажной таежной зоне, где осадков выпадает 500–600 мм в год (район расположения золоотвала Верхнетагильской ГРЭС), полевая влажность в вегетационный период колебалась от 4,0 до 37,0 % в слое 0–5 см и от 20,0 до 45,0 % в слое 20–40 см; в лесостепной зоне, где осадков выпадает до 350 мм в год (район расположения Южноуральской ГРЭС), эти величины изменялись от 0,4–25,0 до 17,0–30,0 % соответственно по слоям. Атмосферные осадки полностью поглощаются золой, пополняя

внутренние запасы в толще золоотвалов (Пасынкова, 1974).

Исследование активности микрофлоры в «свежей» золе показало, что микробиологическая деятельность крайне низка и развития бактерий практически не происходит. В связи с этим превращение питательных веществ идет крайне медленно. Одной из причин слабой микробиологической деятельности является щелочная среда золы, препятствующая развитию основных физиологических групп микроорганизмов.

Химический состав золы золоотвалов СУГРЭС, ВТГРЭС и ЮУГРЭС представлен в табл. 26. Как видно из таблицы, зола исследуемых золоотвалов крайне бедна N (практически его не содержит), зола золоотвала ЮУГРЭС содержит мало подвижных форм P и K, у золы золоотвала ВТГРЭС достаточно высокое обеспечение подвижными фосфатами и низкое обеспечение K. Реакция среды слабо-щелочная. Содержание микроэлементов выше, чем в почве.

Физический и химический состав золы, значительная ее влагоемкость и влажность, особый температурный режим, бесструктурность делают золу специфическим техногенным субстратом, не имеющим аналогов в природе.

Золоотвал Среднеуральской государственной районной электростанции

Опыт рекультивации золоотвала Среднеуральской ГРЭС (СУГРЭС). Среднеуральская ГРЭС, крупнейший производитель тепловой и электрической энергии, располагается в 26 км к северо-

Таблица 26

Химический состав зольного субстрата

Наименование объекта	Валовое содержание основных элементов (% на прокаленную навеску)						N, %	Содержание подвижных элементов, мг/100 г золы		pH по KCl
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		P ₂ O ₅	K ₂ O	
Золоотвал СУГРЭС	66,76	24,51	4,47	1,33	0,36	0,51	Следы	0,34	3,9	8,6
Золоотвал ВТГРЭС	48,40	23,40	14,20	4,90	2,90	3,80	Следы	23,50	7,00	8,50
Золоотвал ЮУГРЭС	58,30	31,40	7,20	2,00	0,30	0,70	0,08	2,70	1,60	8,00

западу от г. Екатеринбурга на берегу оз. Исетское, на восточном склоне Среднего Урала (таежная зона, подзона южной тайги), непосредственно рядом с г. Среднеуральском. Строительство СУГРЭС начато в 1934 г., в 1936 г. запущена первая турбина мощностью 59 МВт.

Золоотвал СУГРЭС находится в 1 км от главного корпуса станции, площадь его к 1972 г. составляла 192 га.

В 1949 г. для укрепления дамб золоотвала был произведен посев трав *Amoria repens*, *Trifolium pratense*, *Phleum pratense*.

Первое время эксплуатации СУГРЭС работала на челябинском угле, с 1942 г. станция перешла на сжигание местных низкосортных, трудно-размалываемых богословских углей. Из-за недостатка местных углей в 1954 г. ГРЭС была переведена на новый вид топлива — иртышский уголь Экибастузского месторождения. Зольность экибастузского угля на 30 % выше зольности челябинского (Дайбо, 1969). В 1982 г. первая очередь электростанции переведена с угля на природный газ, резервное топливо — высокосернистый мазут (см. табл. 26).

Золоотвал СУГРЭС состоит из трех зольных полей, вытянутых с востока на запад и разделенных насыпными щебенчато-глинистыми дамбами. Возраст зольных полей различен.

К 1968 г. заполнение емкостей золоотвала было завершено.

Зольное поле № 1 занимает западную часть золоотвала (64 га). Толщина зольных аккумуляций 6–8 м. Заполнение емкости было завершено в 1968 г., но в 1972 г. его продолжили использовать для открытой транспортировки пульпы в новый котлован (отстойник).

Зольное поле № 2 занимает восточную часть золоотвала. Эксплуатация закончена в 1959 г., после чего поверхность его была покрыта слоем торфа и почвогрунта толщиной 20–30 см, в северо-восточной части зольного поля был проведен посев многолетних трав.

Зольное поле № 3 расположено в северной части золоотвала и по площади является самым большим. Эксплуатация его была закончена в 1968 г. Зольное поле № 3 имеет общий уклон с севера на юг в сторону внутренней дамбы, отделяющей его от зольного поля № 1. При строительстве нового водоотводного канала на зольное поле был намыт слой торфа, который закрыл почти всю его площадь.

При биологической рекультивации ставилась задача быстрой консервации золоотвала с целью прекращения дефляции золы, водной и ветровой эрозии золоотвала. Конечным результатом биологической рекультивации было создание на золоотвале растительного покрова санитарно-гигиенического назначения с частичным хозяйственным использованием.

Мониторинговые исследования на золоотвале СУГРЭС.

В 1966–1967 гг. лабораторией промышленной ботаники УрГУ под руководством В. В. Тарчевского были проведены исследования растительности, которые показали, что на золоотвале наблюдался процесс формирования первичных растительных группировок с преобладанием пионерных видов: *Puccinellia hauptiana* V. Krecz., *Polygonum aviculare*, *Atriplex sagittata* Borkh., *Elytrigia repens*, *Deschampsia cespitosa*, а также других рудеральных видов.

Последующие исследования были проведены в 1972 г. (Серая, 1981; Серая, Комов, 1974). При обследовании золоотвала было выделено три участка: № 1 — на «чистой» золе, № 2 и № 3 — на рекультивированной территории.

К 1972 г. растительность на «чистой» золе (участок № 1) была представлена одиночными растениями и изреженными двух- и трехкомпонентными группировками, в составе которых встречались всходы *Salix* sp., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Tussilago farfara*, *Atriplex sagittata*, *Chenopodium album* и других видов.

На одновозрастном зольном поле (участок № 2) после покрытия его слоем торфа произошло формирование растительных группировок, видовой состав которых находился в прямой зависимости от толщины торфяного покрытия и условий увлажнения. Там, где толщина торфяного покрытия составила 30–40 см, шло формирование осоково-злаковых растительных группировок с преобладанием *Deschampsia cespitosa* (cop₁), *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (sp), *C. lanceolata* Rolh (sp), *Alopecurus pratensis* L. (sp), *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl. (sp), *Carex cinerea* Poll. (sp), *C. pediformis* C. A. Mey. (sp) и др., и злаково-разнотравных растительных группировок с преобладанием *Artemisia vulgaris* L. (cop₁), *A. sericea* Web. (sp), *Deschampsia cespitosa* (sp), *Calamagrostis epigeios* (sp). При меньшей толщине торфяного слоя (25–20 см) и большей влажности субстрата формировались злаково-осоково-хвощевые растительные группировки с преобладанием таких видов, как *Equisetum arvense* (cop₁), *Luzula multiflora* (Ehrh.) Lej. (cop₁), *Carex brunnescens* (Pers.) Poir. (sp), *C. pediformis* (sp), *C. cinerea* (sp), *C. cespitosa* L. (sp), *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth (sp), *Agrostis canina* L. (sp), *Puccinellia distans* (sp) и др.

На зольном поле (участок № 3), эксплуатация которого была завершена к 1959 г., после нанесения слоя торфа и почвогрунта и посева на отдельных площадях многолетних трав (*Trifolium pratense*, *Festuca rubra* L. и др.) за 13 лет сформировались растительные сообщества с доминированием *Deschampsia cespitosa* (cop₁). На участках со слоем торфа

20–25 см при умеренном увлажнении содоминантами *Deschampsia cespitosa* являются *Amoria repens* (cop₁-sp), *Calamagrostis epigeios* (sp), *Poa palustris* (sp), *P. pratensis* (sp), *Lathyrus pratensis* (sp), *Artemisia vulgaris* (sp), *Equisetum arvense* (sp) и др., на участках с более тонким слоем торфа (5–10 см) при условии переувлажнения содоминантами являются осоки *Carex vesicaria* L. (cop₁), *C. cinerea* (sp), а также *Amoria repens* (sp).

От дамб к центру шло активное заселение золоотвала ивами, всего было встречено шесть видов ив: *Salix caprea* L., *S. cinerea* L., *S. phylicifolia* L., *S. pentandra* L., *S. triandra* L., *S. viminalis* L. Высота отдельных экземпляров достигала 1,5–2 м, на площади 10 м² встречалось в среднем 10–30 экз.

Изучение растительности золоотвала, проведенное нами в 2003–2004 гг., через 36 лет после прекращения заполнения емкости золоотвала, показало, что на «чистой» золе сформировались вейниковые растительные сообщества (доминант *Calamagrostis epigeios* [cop₁]) с незначительным участием других видов и вейниково-разнотравные растительные сообщества, в которых содоминантами вейника являются *Linaria vulgaris* (cop₁-cop₂), *Erigeron acris* L. (cop₁), *Elytrigia repens* (cop₁ gr), *Chamaenerion angustifolium* (cop₁ gr), *Lathyrus pratensis* (cop₁), *Phleum pratense* (cop₁), *Poa pratensis* (cop₁), *Deschampsia cespitosa* (cop₁-sp).

На большей части золоотвала на рекультивированной территории в конце 90-х гг. XX в. были созданы культурфитоценозы с преобладанием *Bromopsis inermis* (cop₂), *Phleum pratense* (cop₁-cop₂), значительное участие в создании травостоя на этих участках принимают *Calamagrostis epigeios* (cop₂), *Elytrigia repens* (cop₁-sp), *Poa pratensis* (cop₁-sp); из разнотравья: *Cirsium setosum* (cop₁-sp), *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (cop₁), *Linaria vulgaris* (cop₁).

На части золоотвала на рекультивированных участках сформировались травянистые растительные сообщества с доминированием сегетальных и рудеральных видов: *Cirsium setosum* (cop₁), *Descurainia sophia* (cop₁-cop₂ gr), *Chenopodium album* (cop₁-cop₂), *Oberna behen* (cop₁ gr), *Stellaria media* (L.) Vill. (cop₃), из Poaceae преобладает *Elytrigia repens* (cop₁-cop₂). Высота растений достигает 1,7–1,8 м. Плотность травостоя очень высокая.

Вдоль дамбы сформировались растительные сообщества с преобладанием древесных видов: *Betula pendula* Roth (высота до 4 м), *Populus tremula* L. (до 6 м), *Pinus sylvestris* L., подроста видов рода *Salix*; на дамбе — *Alnus incana* (L.) Moench (высотой 4–7 м), *Populus balsamifera* L. (4–6 м), *Salix viminalis* (2–3 м).

К 2010 г. на большей части рекультивированного золоотвала (покрытие слоем торфа и посев многолетних трав) сформировались разнотравно-злаковые фитоценозы. В культурфитоценозе помимо культурных видов встречается 23 вида-внедренца. Общее проективное покрытие травянистыми растениями составляет 95–100 %. В травостое доминируют культурные виды: *Bromopsis inermis* (cop₂), *Phleum pratense* (sp gr) и *Dactylis glomerata* (cop₁). Содоминантами культурных видов являются *Taraxacum officinale* (cop₁), *Cirsium setosum* и *Elytrigia repens* (sp gr–cop₁).

При оценке культурфитоценоза с хозяйственной точки зрения было выявлено, что общая продуктивность травостоя составила 40 ц/га (*Bromopsis inermis* — 6,6; *Dactylis glomerata* — 8,2; *Phleum pratense* — 11,5; внедрившиеся виды — 13,7 ц/га).

Доля культурных злаков в биомассе растений составила 66 % от общей биомассы культурфитоценоза (*Bromopsis inermis* — 17 %, *Dactylis glomerata* — 20 % и *Phleum pratense* — 29 %).

Характеристика ценопопуляций *Bromopsis inermis*, *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense*. Плотность побегов культурных злаков к 2010 г. в среднем составляет 43 шт./0,25 м² (*Bromopsis inermis* — 20 шт./0,25 м², *Dactylis glomerata* — 18 шт./0,25 м² и *Phleum pratense* — 5 шт./0,25 м²), что значительно ниже показателей 2004 г. (*Bromopsis inermis* — 126 шт./0,25 м² и *Phleum pratense* — 144 шт./0,25 м²).

Первый компонент травосмеси — *Bromopsis inermis* — распределен более или менее равномерно по территории золоотвала (коэффициент встречаемости составляет 85,7 %). В культурфитоценозе преобладают вегетативные побеги *Bromopsis inermis* (83 %). Проведенные исследования показали, что в условиях золоотвала развиваются полноценные генеративные побеги (табл. 27).

Посевные качества семян с увеличением возраста культурфитоценоза ухудшаются: энергия прорастания семян снижается с 79 % (2004 г.) до 12,3 % (2010 г.), всхожесть также имеет тенденцию к снижению, но остается высокой — 86 % (2004 г.) и 71,3 % (2010 г.) (ГОСТ 12036-66 — ГОСТ 12047-66, 1978).

Второй компонент травосмеси — *Dactylis glomerata*. В 2004 г. встречались отдельные особи *Dactylis* (обилие sol), к 2010 г. данный вид встречается уже на 57,1 % учетных площадок.

Dactylis glomerata — рыхлокустовой злак, поэтому при исследовании за счетную единицу принималась особь. При изучении горизонтальной структуры учитывалось количество особей на площадках, а также количество побегов в каждой особи.

**Некоторые биометрические показатели генеративных побегов
*Bromopsis inermis***

Показатель	Год	N	$\bar{X}_p \pm m$	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	2004	100	117,4 \pm 1,14	93,0–148,0	11,36	10
	2010	101	130,2 \pm 1,53	86,0–164,0	15,39	12
Количество узлов на удлиненной части побега, шт.	2004	100	5,4 \pm 0,09	3–7	0,87	16
	2010	101	3,9 \pm 0,09	3–7	0,91	23
Количество зеленых листьев, шт.	2004	100	5,4 \pm 0,10	3–9	0,96	18
	2010	101	3,6 \pm 0,08	2–6	0,82	22
Размер листа, см: длина предфлажя ширина предфлажя	2004	100	19,4 \pm 0,34	12,0–30,0	3,43	18
	2010	101	19,6 \pm 0,40	10,0–35,0	3,97	20
	2004	100	0,6 \pm 0,01	0,3–1,0	0,14	23
	2010	101	0,5 \pm 0,01	0,3–0,8	0,11	22
Длина соцветия, см	2004	98	15,9 \pm 0,24	10,5–22,6	2,36	15
	2010	—	—	—	—	—
Количество веточек в соцветии, шт.	2004	98	25,7 \pm 0,65	11–45	6,47	25
	2010	101	17,6 \pm 0,48	8–34	4,81	27
Количество колосков в соцветии, шт.	2004	98	35,0 \pm 1,13	17–66	11,18	32
	2010	101	23,4 \pm 0,63	12–47	6,32	27
Количество цветков в соцветии, шт.	2004	98	234,1 \pm 8,52	94–457	84,34	36
	2010	101	118,5 \pm 4,61	32–256	46,31	39
Вес воздушно-сухой массы, г: соцветия побега	2004	98	0,3 \pm 0,01	0,11–0,70	0,13	39
	2010	101	0,2 \pm 0,01	0,05–0,84	0,13	58
	2004	98	2,2 \pm 0,07	1,00–4,35	0,70	33
	2010	101	1,5 \pm 0,07	0,32–3,98	0,68	44

В среднем на учетную площадку (0,25 м²) встречается по 2–4 особи. Количество побегов в особях варьирует от 7 до 34 шт.

Практически все побеги *Dactylis glomerata* мощные и стабильные по большинству признаков (табл. 28, 29). При этом семена *Dactylis* характеризуются низкой энергией прорастания — 29,7 %, но высокой всхожестью — 84,5 %.

Ценопопуляция *Dactylis glomerata* является нормальной, неполночленной. Возрастной спектр двувершинный (первый пик приходится на v , второй — на g_3).

Третий компонент культурфитоценоза — *Phleum pratense*. Так как данный вид является рыхлокустовым злаком, за счетную единицу принималась особь. При изучении горизонтальной структуры учитывалось количество особей на площадках, а также количество побегов в каждой особи.

В 2004 г. *Phleum pratense* встречалась на 9 из 10 площадок (90 %). К 2010 г. вид характеризуется низкой встречаемостью (встречается на 23,8 % учетных площадок) и плохим образованием семян.

Таблица 28

Некоторые биометрические показатели генеративных побегов *Dactylis glomerata*

Показатель	$X_{cp} \pm m$	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	$125,87 \pm 1,02$	103–153	11,45	9
Количество узлов на удлинённой части побега, шт.	$3,99 \pm 0,02$	3–5	0,26	7
Размер листа, см: длина предфлажя ширина предфлажя	$16,56 \pm 0,43$ $0,49 \pm 0,01$	7–32 0,4–0,6	4,83 0,06	29 12
Длина соцветия, см	$11,99 \pm 0,27$	3–18	3,04	25
Количество веточек в соцветии, шт.	$3,48 \pm 0,06$	2–5	0,69	20
Длина 1-й веточки, см	$6,17 \pm 0,18$	1–11	2,1	34
Вес воздушно-сухой массы, г: соцветия побега	$0,31 \pm 0,01$ $1,81 \pm 0,05$	0,06–0,86 0,61–2,81	0,15 0,55	48 30

Таблица 29

Некоторые биометрические показатели вегетативных побегов *Dactylis glomerata*

Показатель	$X_{cp} \pm m$	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	$59,56 \pm 0,78$	19–93	12,44	20
Вес воздушно-сухой массы побега, г	$0,32 \pm 0,009$	0,02–1,10	0,14	32

В среднем каждая особь состоит из 5–7 побегов. Количество побегов особей *Phleum pratense* составляет от 2 до 18 шт.

Анализ генеративных побегов *Phleum pratense* проводился по 11-ти признакам (табл. 30). Наиболее мощные побеги по большинству показателей были собраны на участке культурфитоценоза в 2010 г. Высота побега в среднем составила 98 см, длина флага — 9,7 см, ширина флага — 0,4 см, длина предфлажя — 16,3 см, ширина предфлажя — 0,4 см.

Ценопопуляция *Phleum pratense* является нормальной, неполночленной. Возрастной спектр одновершинный (пик приходится на g_2). В фитоценозе преобладают особи в средневозрастном генеративном состоянии. Это естественно, так как *Phleum pratense* является многолетним злаком и максимальным периодом онтогенеза является g_2 . В то же время на характер спектра, возможно, повлияла хозяйственная деятельность человека (сенокосы), затрудняющая семенное возобновление. Помимо среднегенеративных особей, в фитоценозах присутствует значительное число особей в ранневозрастном генеративном состоянии (g_1). В фитоценозе 2010 г. появляется большое число особей поздневозрастного генеративного состояния (g_3).

Некоторые биометрические показатели генеративных побегов *Phleum pratense*

Показатель	2004			2010		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Высота побега, см	58,8	33,5–93,0	21,1	98,85 ± 1,95	29–134	22
Количество узлов, шт.	4	3–5	15,8	4,02 ± 0,05	3–5	15
Количество зеленых листьев, шт.	4	2–6	23,5	3,16 ± 0,06	0–6	23
Размеры листа, см:						
длина предфлажья	9	0,35–1,4	27,6	16,37 ± 0,46	4–35	32
ширина предфлажья	4	0,3–5,5	12,4	0,47 ± 0,01	0,3–0,7	16
Длина султана, см	3,2	1,3–7,5	46,4	6,08 ± 0,21	1–12	39
Всё воздушно-сухой массы, г:						
султана	0,1	0,02–0,26	66,8	0,11 ± 0,01	0,01–0,29	54
побега	0,5	0,2–1,84	57,2	1,10 ± 0,03	0,25–2,04	33

Оценка жизнеспособности особей *Phleum pratense* и ценопопуляции в целом, в сравнении с показателями популяций, произрастающих в естественных ценозах (по литературным данным), показала, что развитие данного злака происходит нормально. Однако данный культивируемый злак уступает другим компонентам травосмеси по встречаемости и образованию семян, не выдерживая конкуренции.

Таким образом, исследования показали, что проведенные рекультивационные мероприятия (покрытие слоем торфа от 20 до 40 см, посев многолетних трав, таких как *Bromopsis inermis*, *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense*) позволили создать на золоотвале СУГРЭС долголетние, устойчивые, высокопродуктивные и ценные в хозяйственном отношении культурфитоценозы.

Рекультивационные мероприятия способствуют созданию благоприятных условий для произрастания растений. Исследуемые злаки являются перспективными для выращивания на золоотвалах.

Золоотвал Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС)

Опыт создания культурфитоценозов на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС. Исследования проводились на золоотвале ВТГРЭС, расположенном в Свердловской обл., в 5 км от г. Верхнего Тагила (таежная зона, подзона южной тайги). Площадь золоотвала 125 га, высота дамб от 0 до 25 м, образован золой бурых углей Коркинского разреза и

Калачевских шахт (Челябинский буроугольный бассейн) (химический состав золы представлен выше, см. табл. 26). Отвал расположен в лесной зоне Урала и с трех сторон окружен хвойным и смешанным лесом. Общим признаком для естественных ассоциаций, окружающих отвал, является высокое обилие злаков. Видами, доминирующими здесь, являются *Agrostis gigantea*, *Deschampsia cespitosa*, *Festuca pratensis*, *F. rubra*, *Poa pratensis*, *Elytrigia repens*, которые встречаются с обилием сор₁-сор₂. Травянистая растительность, приближаясь к дамбам золоотвала, обедняется по видовому составу, сильно изреживается. Дамбы, сложенные из глины и щебня с примесью крупномерного материала, имеют минимум питательных веществ. В травостое дамб преобладают *Bromopsis inermis*, *Festuca pratensis*, *Chamaenerion angustifolium*, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Tussilago farfara*, *Polygonum aviculare*, *Sonchus arvensis*, *Cirsium setosum*. Встречаются *Agrostis gigantea*, *Trifolium pratense*, *Ranunculus acris*.

Биологическая рекультивация на части золоотвала начата в 1968–1970 гг. (через три года после прекращения подачи пульпы) и продолжалась в последующие годы. При биологической рекультивации ставилась задача быстрой консервации золоотвала с целью прекращения дефляции золы, водной и ветровой эрозии субстрата. Конечным результатом биологической рекультивации было создание на золоотвале растительного покрова санитарно-гигиенического назначения с частичным хозяйственным использованием. Применялось нанесение слоя глинистого грунта толщиной 10–15 см полосами шириной 6–10 м с таким же по размеру межполосным пространством с ориентацией полос поперек господствующего направления ветров. Большинство полос было засеяно многолетними травами (*Agropyron cristatum*, *Bromopsis inermis*, *Festuca rubra*, *Medicago media* Pers., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. и др.), часть отвала была оставлена под самозаращение. В результате проведенных работ образовался разнообразный спектр экотопов, включающий: участки нерекультивированной территории на «чистой» золе с разной степенью увлажнения; первично рекультивированную территорию с полным нанесением грунта и вторично рекультивированную территорию со сплошным нанесением торфа (Экологические основы и методы..., 2002). На вторично рекультивированной территории после раскорчевки кустарников и сплошного нанесения слоя торфа в начале 1990-х гг. был произведен посев многолетних трав. При использовании комплекса органических и минеральных удобрений были созданы продуктивные пастбищно-сенокосные угодья с доминированием *Bromopsis inermis* с общим проективным покрытием до 90–100 %.

Рекультивационные мероприятия продолжались в течение ряда лет, в результате чего на золоотвале сформировались разновозрастные культурфитоценозы. Обследование данных культурфитоценозов в 2004 г. показало, что общее проективное покрытие растительностью высокое — 90–100 %.

Более старые культурфитоценозы (вариант I) представляют собой разнотравно-злаковые растительные сообщества с доминированием *Bromopsis inermis* (cop₁), содоминантами которого являются *Convolvulus arvensis* L., *Silene nutans* L., *Plantago media* L., *Festuca rubra* (sp gr–cop₁). В более молодых культурфитоценозах (вариант II) формируется бобово-разнотравно-злаковый фитоценоз с доминированием *Bromopsis inermis* (cop₂), содоминантами которого являются *Vicia sepium* L. (cop₁ gr), *V. cracca*, *Galium album*, *Plantago media* (sp gr–cop₁), *Galium mollugo* L., *Linaria vulgaris* L., *Cirsium setosum*, *Taraxacum officinale*, *Festuca rubra* (sp gr).

В 2010 г. наблюдается небольшое снижение ОПП данных культурфитоценозов (80–90 %). В качестве доминанта сохраняется *Bromopsis inermis* (cop₂–cop₃), содоминантами которого в варианте I через 6 лет выступают *Euphorbia virgata* Waldst. et Kit. (cop₂ gr), *Chamaenerion angustifolium*, *Achillea millefolium* (sp gr–cop₁); в варианте II — *Dactylis glomerata*, *Lathyrus pratensis*, *Cirsium setosum*, *Veronica chamaedrys* L. (sp–cop₁), *Aegopodium podagraria* L. (sp gr–cop₁).

Анализ продуктивности созданных культурфитоценозов показал, что вес воздушно-сухой надземной фитомассы в варианте I изменяется незначительно — от 261,76 г/м² (2004 г.) до 212,97 г/м² (2010 г.), в варианте II — от 297,14 г/м² (2004 г.) до 291,52 г/м² (2010 г.) (табл. 31). Преобладающими хозяйственными группами в травостое данных сообществ являются злаки, долевое участие их в 2010 г. по вариантам составляет 83,11 и 87,63 %. Причем доля *Bromopsis inermis* в фитомассе варианта I составила 69,27 % (2004 г.) и 70,75 % (2010 г.), варианта II — 78,19 и 76,98 % соответственно.

Плотность побегов *Bromopsis inermis* в «старом» культурфитоценозе снижается с 408 шт./м² (2004 г.) до 250 шт./м² (2010 г.) и почти не меняется в «молодом» — 318 шт./м² (2004 г.) и 304 шт./м² (2010 г.).

Доля участия вегетативных побегов *Bromopsis inermis* в травостое культурфитоценозов за 6 лет увеличивается с 75 до 91 % (вариант I) и 94 % (вариант II), генеративных же снижается с 25 до 9 % (вариант I) и 6 % (вариант II). При этом биометрические показатели генеративных побегов изменяются в сторону увеличения, кроме количества веточек и колосков в соцветии (табл. 32). Аналогичные данные получены и для вегетативных побегов.

Таблица 31

**Продуктивность культурфитоценозов
на золоотвале ВТГРЭС (2010 г.)**

Вариант	Год	Хозяйственные группы						Общая масса, г/м²
		Злаки		Бобовые		Разнотравье		
		Масса, г/м²	Долевое участие, %	Масса, г/м²	Долевое участие, %	Масса, г/м²	Долевое участие, %	
I	2004	256,21	97,88	1,10	0,42	4,45	1,70	261,76
	2010	177,00	83,11	3,35	1,57	32,63	15,32	212,97
II	2004	245,40	82,60	32,68	11,00	19,06	6,40	297,14
	2010	255,45	87,63	14,16	4,86	21,91	7,51	291,52

Таблица 32

Некоторые биометрические показатели генеративных побегов *Bromopsis inermis*

Показатель	Вариант	Год	N	$X_{cp} \pm m$	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	I	2004	100	$102,6 \pm 1,28$	59,5–136,5	12,77	12
		2010	102	$127,7 \pm 1,36$	90,4–159,3	13,78	11
	II	2004	100	$94,8 \pm 1,39$	45,0–131,0	13,86	15
		2010	100	$104,1 \pm 1,14$	68,4–140,0	11,44	11
Размер листа, см: длина предфлажья	I	2004	100	$16,1 \pm 0,4$	9,0–33,0	3,70	23
		2010	102	$24,4 \pm 0,4$	16,0–38,5	4,16	17
	II	2004	100	$15,1 \pm 0,3$	10,0–26,0	2,72	18
		2010	89	$17,6 \pm 0,3$	11,8–27,3	3,00	17
ширина предфлажья	I	2004	100	$0,4 \pm 0,01$	0,3–0,7	0,09	22
		2010	102	$0,7 \pm 0,02$	0,4–1,2	0,16	23
	II	2004	100	$0,4 \pm 0,01$	0,3–0,6	0,08	20
		2010	93	$0,6 \pm 0,01$	0,3–0,8	0,09	15
Длина соцветия, см	I	2004	100	$14,7 \pm 0,29$	8,9–23,7	2,86	19
		2010	101	$17,6 \pm 0,31$	9,5–24,5	3,10	18
	II	2004	99	$13,9 \pm 0,24$	8,6–24,0	2,41	17
		2010	99	$17,0 \pm 0,29$	8,2–25,0	2,86	17
Количество веточек в соцветии, шт.	I	2004	100	$23,8 \pm 0,52$	15–46	5,18	22
		2010	101	$22,6 \pm 0,60$	7–39	6,01	27
	II	2004	99	$25,0 \pm 0,63$	12–51	6,26	25
		2010	100	$21,4 \pm 0,50$	6–34	5,00	23

Показатель	Вариант	Год	N	$\bar{X}_{cp} \pm m$	lim	σ	Cv, %
Количество колосков в соцветии, шт.	I	2004	100	$30,2 \pm 0,86$	15–65	8,59	28
		2010	101	$32,6 \pm 1,09$	11–63	10,94	34
	II	2004	99	$30,7 \pm 0,94$	12–65	9,34	30
		2010	100	$29,1 \pm 1,02$	7–67	10,16	35
Количество цветков в соцветии, шт.	I	2004	100	$192,8 \pm 7,11$	67–465	71,08	37
		2010	101	$215,9 \pm 8,32$	77–514	83,57	39
	II	2004	99	$180,0 \pm 7,01$	48–407	69,74	39
		2010	100	$164,8 \pm 5,79$	51–345	57,91	35
Всё воздушно-сухой массы, г: соцветия побега	I	2004	100	$0,28 \pm 0,01$	0,05–0,70	0,11	41
		2010	101	$0,39 \pm 0,02$	0,15–0,99	0,16	41
	II	2004	99	$0,27 \pm 0,01$	0,07–0,74	0,11	42
		2010	100	$0,34 \pm 0,01$	0,14–0,66	0,13	38
	I	2004	100	$1,65 \pm 0,07$	0,26–4,77	0,65	40
		2010	101	$2,92 \pm 0,10$	1,40–6,35	0,99	34
	II	2004	100	$1,67 \pm 0,06$	0,33–3,69	0,64	38
		2010	100	$1,68 \pm 0,05$	0,74–4,11	0,53	31

Таким образом, оценка опыта создания культурфитоценозов на золоотвале ВТГРЭС показала, что рекультивационные мероприятия способствовали созданию устойчивых и продуктивных культурфитоценозов с доминированием *Bromopsis inermis*. Вид *Bromopsis inermis* является перспективным при создании хозяйственно ценных растительных сообществ.

Золоотвал Южноуральской государственной районной электростанции (ЮУГРЭС)

Опыт рекультивации золоотвала Южноуральской ГРЭС. Золоотвал ЮУГРЭС расположен рядом с г. Южноуральском на юге Челябинской области в лесостепной зоне.

Золоотвал вплотную примыкает к территории электростанции, площадь его составляет 68 га. В 1964–1966 гг. на нем была проведена рекультивация со сплошным покрытием слоем почвы толщиной 10–15 см и посевом многолетних трав *Onobrychis arenaria*, *Medicago media*, *Bromopsis inermis*. Через 10 лет после первого посева был подсеян *Agropyron cristatum*.

Мониторинговые исследования формирующихся на рекультивированном золоотвале фитоценозов, проведенные через 15, 25 и 35 лет,

показали, что к 1970 г. на участках с посевом многолетних трав образовались эспарцетовый (доминант *Onobrychis arenaria*), люцерновый (доминант *Medicago media*) и кострцовый (доминант *Bromopsis inermis*) культурфитоценозы. На участке самозаращения «чистого» зольного субстрата к 1970 г. сформировалась разнотравно-полынная растительная группировка с преобладанием *Artemisia absinthium* L., *A. campestris* L., *A. dracunculus* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Salsola collina* Pall., *Lepidium ruderales* L. (Некоторые особенности..., 1974).

Через 15 лет на рекультивированном золоотвале сформировалась разнотравно-злаково-полынная и разнотравно-полынно-злаковая растительность с преобладанием полыней *Artemisia absinthium*, *A. austriaca* Jacq., *A. campestris*, *A. dracunculus* с обилием сор₁ и злаков *Poa pratensis* (сор₂), *Elytrigia repens* (сор₁), *Agropyron cristatum* (сор₁). Общее проективное покрытие на разных участках варьирует от 60 до 80 %.

Вес надземной фитомассы на золоотвале составил 8,9 ц/га, а подземной почти в 2,6 раза больше — 23,3 ц/га (табл. 33).

Таблица 33

Производительность растительных сообществ золоотвала ЮУГРЭС

Фитоценоз (растительная группировка)	Вес воздушно-сухой массы, ц/га		Соотношение веса подземных органов к весу надземных
	надземных органов	подземных органов	
	1970 г. *		
Кострцовый культурфитоценоз	7,7	18,6	2,3
Люцерновый культурфитоценоз	16,4	26,8	1,6
Эспарцетовый культурфитоценоз	27,6	55,7	2,0
	1980 г.		
Рекультивированный золоотвал	8,9	23,3	2,6
	1989 г.		
Рекультивированный золоотвал	13,5	50,8	3,7

* За 1970 г. приведены литературные данные (Некоторые особенности..., 1974).

Исследования показали, что создание культурфитоценозов на золоотвале ускорило процессы формирования растительности. Сразу сформировались продуктивные и хозяйственно ценные растительные сообщества с преобладанием высеянных видов *Onobrychis arenaria*, *Medicago media*, *Bromopsis inermis* и *Agropyron cristatum*. Отсутствие ухода за посевами, а также их вытаптывание и стравливание скотом при выпасе ускоряют распад и деградацию культурфитоценозов. При дальнейшей трансформации культурфитоценозов происходит постепенное вытеснение культурных

видов (особенно бобовых) дикорастущими, формирование травянистых сообществ идет по пути сближения с луговыми степями. Наиболее долголетними из высеянных культур оказались *Bromopsis inermis* и *Agropyron cristatum*, они способствуют созданию продуктивных травостоев и закреплению субстрат путем образования дернины.

Через 25 лет (1989 г.) после проведения биологической рекультивации на рекультивированном золоотвале ЮУГРЭС сформировался разнотравно-злаковый фитоценоз. Общее проективное покрытие составляет 80–100 %. В результате заноса семян из лесопосадок на части золоотвала появились редкие кусты *Elaeagnus angustifolia* L. (sol-sp) от 1 до 2 м высотой. В травостое аспекты создают злаки *Poa pratensis* (cop₁), *Agropyron cristatum* (cop₁), *Elytrigia repens* (sp), *Bromopsis inermis* (sp), редкие кусты *Artemisia dracunculus* (sp), *Euphorbia virgata* (sp), *Potentilla impolita* Wahlenb. (sp).

Через 35 лет (1999 г.) после проведения биологической рекультивации на золоотвале сформировался разнотравно-злаковый фитоценоз. Из злаков преобладают *Agropyron cristatum* (cop₁), *Bromopsis inermis* (cop₁), *Elytrigia repens* (sp-cop₁), из разнотравья *Potentilla impolita* (sp-cop₁), *Euphorbia virgata* (cop₁-sp), *Artemisia dracunculus* (sp-cop₁). Всего зарегистрировано 50 травянистых видов, относящихся к сорно-рудеральной и лугово-сорной (33,1 %), луговой и лугово-лесной (19,0 %), лугово-степной и степной (35,1 %) ценоотическим группам. Общее проективное покрытие варьирует от 50 до 90 %. Древесные виды представлены одним видом — *Elaeagnus angustifolia* (sp) до 3 м высотой.

Изучение воздушно-сухого веса надземных и подземных органов травянистых растений на золоотвале показало, что с возрастом происходит увеличение надземной фитомассы и, в большей степени, относительного и абсолютного веса подземных органов, что является характерным для степных растительных сообществ. Известно, что в зависимости от условий произрастания, в частности от уровня азотного питания, у растений меняется не только количество и качество продуктов метаболизма, но и доля использования их для роста различных органов (Мокроносов, 1966). Это обеспечивает растительный организм более мощным аппаратом для поглощения необходимых элементов минерального и водного питания и может рассматриваться как один из механизмов адаптации растений к недостатку питательных веществ и воды в каменноугольной золе.

Таким образом, в лесостепной зоне на золоотвале ЮУГРЭС после покрытия слоем почвы и посева многолетних трав сразу формируются продуктивные и хозяйственно ценные растительные сообщества с преобладанием высеянных видов. При дальнейшей трансформации культурфито-

тоценозов произошло постепенное за 10–15 лет вытеснение культурных видов (особенно бобовых) дикорастущими. Подсеянный позднее, через 10 лет после первого посева, *Agropyron cristatum* успешно расселяется по золоотвалу преимущественно за счет семенного размножения. Через 35 лет после проведения биологической рекультивации на золоотвале сформировался разнотравно-злаковый фитоценоз с преобладанием *Poa pratensis* и *Agropyron cristatum*. Рекультивационные мероприятия на золоотвале ЮУГРЭС ускоряют формирование растительного покрова, меняют направление развития фитоценозов и их динамику.

Анализ данных, полученных при обследовании растительных сообществ, формирующихся на рекультивированных золоотвалах ГРЭС Урала, позволяет считать, что создание культурфитоценозов на золоотвалах обеспечивает формирование относительно высокопродуктивных растительных сообществ, представляющих интерес в хозяйственном и санитарно-гигиеническом отношении.

Дальнейшая трансформация культурфитоценозов, созданных на золоотвалах, зависит от их хозяйственного использования и зонально-климатических условий. Так, на золоотвалах СУГРЭС и ВТГРЭС (таежная зона) при постоянном поддержании посевов и их скашивании формируются растительные сообщества сельскохозяйственного назначения, а на золоотвале ЮУГРЭС (лесостепная зона) при рекреационной и пастбищной нагрузке формируются преимущественно растительные сообщества санитарно-гигиенического назначения.

1.3. Характеристика экспериментальных посевов Коркинского угольного разреза

С целью разработки способов биологической рекультивации Коркинского угольного карьера в режиме сухой консервации в конце 1970-х гг. сотрудниками лаборатории промышленной ботаники были проведены экспериментальные посевы 13 видов многолетних трав (8 видов – Poaceae, 5 видов – Fabaceae).

Двадцатилетние наблюдения за экспериментальными посевами показали, что особый интерес представляют многолетние виды *Bromopsis inermis*, *Onobrychis arenaria* и *Medicago media*, способные натурализоваться в условиях карьера (Глазырина, 1997; Глазырина, Пасынкова, 1996, 1997; Третьякова, Глазырина, 1995). Прослежена трансформация экспериментальных посевов с подробным ценопопуляционным анализом наиболее перспективных видов на двух участках, расположенных на глубине 14 и 64 м от дневной поверхности (соответственно I и II участок).

Необходимость применения популяционного подхода при анализе экспериментальных посевов была обоснована ранее в работах Г. П. Серой и Т. С. Чибрик (1982, 1984). Основное внимание было обращено на выявление особенностей пространственной, возрастной и морфологической структур ценопопуляций с целью получения более объективной оценки их жизнеспособности в зависимости от конкретных условий произрастания (Третьякова, Глазырина, 1995). Ранее Г. П. Серой, Т. С. Чибрик (1982, 1984, 1985) было показано, что улучшение условий минерального питания за счет разового внесения удобрений при посеве способствовало выживанию особей культурных видов в начальной стадии их онтогенеза, сохранению и более равномерному размещению растений по площади.

Породный состав участков различен: I — запесоченные глины; II — продукты выветривания песчаников и алевролитов. Агрохимические показатели на участках сильно варьируют (табл. 34). Породы относятся к малопригодным для биологической рекультивации (ГОСТ 17.5.1.03-86, 1986).

Эдификаторная роль посеянного человеком культурного растения в создании местообитания определяется густотой стояния, характером распределения по площади, степенью развития надземных и подземных частей, темпами развития и другими показателями (Марков, 1972, 1986).

Экологические условия — увлажнение, которое зависит от глубины расположения участка относительно дневной поверхности, свойства грунтовой смеси — определяли специфику пионерных группировок, сформировавшихся на участках перед их планировкой. Пионерные группировки находились на раз-

Таблица 34
Химическая характеристика грунтов опытных участков Коркинского угольного карьера*

Опытный участок	Глубина, м	pH		Сухой остаток, %	Тип засоления	C, %		P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O
		водный	солевой			общий	гумус		
I	14	4,70–8,45	4,27–7,52	0,12–1,04	Сульфатный, кальциевый	0,46–5,86	0,18–1,31	0,45–3,59	6,50–19,60
II	64	6,70–8,48	6,35–7,35	0,24–0,54	Не засолен	1,18–8,75	0,25–0,56	0,47–3,19	8,75–22,25

* Приводится по: Сера, Чибрик, 1984.

ных стадиях сингенеза и различались по биологическим и экологическим характеристикам (Серая, Чибрик, 1985). Это отразилось на видовом составе культурфитоценозов, засоренности посева, повлияло на пространственное распределение ценобионтов в пределах ценопопуляции как на первых этапах развития культурфитоценозов, так и в последующем.

В экспериментальных посевах 3-го года жизни видовая насыщенность в расчете на 0,25 м² площади невелика (от 1 до 10 видов). Наибольшей встречаемостью характеризуются *Hordeum jubatum* L., *Melilotus albus*, *Artemisia absinthium* (Серая, Чибрик, 1985).

Систематическая структура травянистых сообществ 10-го года жизни представлена 16 семействами, 60 родами и 78 видами, 14-го — 16 семействами, 57 родами и 72 видами (табл. 35). Биоэкологическая структура травянистых сообществ в целом повторяет структуру парциальной флоры карьера (Глазырина, 2003; Чибрик и др., 2004).

Таблица 35

**Систематический анализ флористического состава
культурфитоценозов по двум экспериментальным участкам**

№ п/п	Семейство	Число родов		Число видов		% от общего числа видов	
		10 лет	14 лет	10 лет	14 лет	10 лет	14 лет
1	Astraceae	17	16	24	21	30,8	29,1
2	Poaceae	12	14	14	15	18,0	20,8
3	Fabaceae	6	6	12	13	15,4	18,0
4	Caryophyllaceae	6	3	8	3	10,3	5,6
5	Brassicaceae	3	3	3	3	3,9	4,2
6	Polygonaceae	2	2	3	3	3,9	4,2
7	Chenopodiaceae	2	3	2	3	2,6	2,8
8	Apiaceae	2	2	2	2	2,6	2,8
9	Boraginaceae	2	2	2	2	2,6	2,8
10	Scrophulariaceae	2	1	2	1	2,6	1,4

Для участка I характерно присутствие большого количества бобовых: *Astragalus sulcatus* L. (класс постоянства по А. П. Шенникову [1964] — 8), *Medicago media* (7), *Trifolium pratense* (10), *Amoria repens* (7), *Vicia cracca* (8). Кроме названных видов высокий класс постоянства здесь имеют *Pimpinella saxifraga* L. (9), *Linaria vulgaris* (9), *Achillea millefolium*, *A. nobilis* L. (10), *Artemisia vulgaris* (10), *Cirsium setosum* (10).

На участке II высокий класс постоянства имеют: из Fabaceae единственный натурализовавшийся культурный вид — *Onobrychis arenaria* (8), а также *Hieracium cymosum* L. (10), *Carduus crispus* L. (8), *Berteroa incana* (L.) DC. и *Rumex acetosella* (7). Почти исключительно на

участке II (при невысоком классе постоянства до 4) представлены виды семейств Caryophyllaceae, Chenopodiaceae и Brassicaceae. Возможно, такое распределение видов по участкам определяется разницей в субстратах и в удалении от дневной поверхности.

С большим обилием в фитоценозах встречаются: на участке I — *Calamagrostis epigeios* (sp-cop₁), *Achillea millefolium* (sp-cop₁), *Bromopsis inermis* (sp gr-cop₁), *Linaria vulgaris* (sp-sp gr), *Artemisia vulgaris* (sp), *Taraxacum officinale* (sp); на участке II — *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb. (sp gr-cop₁), *Onobrychis arenaria* (sp-cop₁), *Calamagrostis epigeios* (sp-cop₁), *Achillea nobilis* (sp-sp gr).

Анализируя видовой состав раункиеровских площадок, можно сказать, что наибольшее фиторазнообразие наблюдается в тех микрогруппировках, где проективное покрытие *Onobrychis arenaria* не более 40 %. Наиболее перспективными в качестве «внедренцев» во 2-й и 3-й ярусы данного растительного сообщества оказались *Achillea millefolium*, *A. nobilis*, *Linaria vulgaris*, *Dianthus acicularis*, *Rumex acetosella*, *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Taraxacum officinale*, а также *Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis*, *Artemisia absinthium* в 1-м ярусе. В большинстве своем это многолетние мезофиты. Можно предположить, что *Onobrychis arenaria* создает фитоценотическую среду, благоприятную для их внедрения в сообщество, а также обогащает почву N, но хорошее развитие их возможно лишь в тех местах, где *Onobrychis* уже изрежен.

Дикоросы располагаются пятнами в местах выпадения культурных растений, обуславливая мозаичность культурфитоценозов. В свою очередь неоднородность эколого-фитоценотических условий, характеризующая экспериментальные участки, обуславливает различия в структуре ценопопуляций *Onobrychis arenaria*, *Medicago media* и *Bromopsis inermis*.

А. А. Уранов (1977) рассматривает ценопопуляцию как систему, которая характеризуется определенным взаимным размещением частей (элементов), т. е. пространственной структурой.

Пространственная структура ценопопуляции *Bromopsis inermis* на участке I характеризуется относительно равномерным распределением ценобионтов по площади и горизонтальной неоднородностью на участке II.

Одним из существенных признаков ценопопуляции, как биологической системы надорганизменного уровня, является численность, которая может подвергаться значительной пространственно-временной изменчивости (Ценопопуляции растений..., 1977). Как показали наши исследования, со временем происходит уменьшение общего числа по-

бегов *Bromopsis inermis* независимо от участка (табл. 36). Плотность ценобионтов больше на участке I. Наблюдается зависимость плотности от культуры-предшественника (вариант I — культура-предшественник *Onobrychis arenaria*, вариант II — культура-предшественник *Bromopsis inermis*).

Таблица 36

Плотность *Bromopsis inermis* по ценопопуляциям

Уча- сток	Культура-пред- шественник	Число ценобионтов, шт./0,1 м ²		Число побегов, шт./м ²			
		lim	среднее	Генеративные		Вегетативные	
I	<i>Onobrychis arenaria</i>	$\frac{11-56}{0-50}$	$\frac{38,8}{24,0}$	$\frac{159}{37}$	$\frac{41,0}{15,4}$	$\frac{229}{203}$	$\frac{59,0}{84,6}$
	<i>Bromopsis inermis</i>	$\frac{0-27}{0-36}$	$\frac{14,4}{11,5}$	$\frac{28}{11}$	$\frac{19,4}{9,6}$	$\frac{116}{104}$	$\frac{80,6}{90,4}$
II	<i>Bromopsis inermis</i>	$\frac{0-40}{0-20}$	$\frac{5,1}{4,1}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3,9}{7,3}$	$\frac{49}{38}$	$\frac{96,1}{92,7}$

Примечание. В числителе приведены данные за 10-й год жизни культурфитоценоза, в знаменателе — за 14-й год (здесь и далее в табл. 37–40).

Помимо горизонтальной неоднородности пространственной структуры, ценопопуляции *Bromopsis inermis* на 10-й и 14-й годы жизни характеризуются и вертикальной анизотропностью. Вертикальная анизотропность ценопопуляций позволяет растениям более полно использовать материальные и энергетические ресурсы среды и свидетельствует о высокой приспособляемости исследуемого вида (Серая, Чибрик, 1984).

По результатам исследований разных лет установлено, что в ценопопуляциях *Bromopsis inermis*, произрастающих в условиях карьера, преобладают вегетативные ценобионты. Доля генеративных побегов в среднем по I участку за 4 года снижается в 2,4 раза, вегетативных — увеличивается в 1,3 раза, на II участке наблюдается обратная картина — в 1,9 раза увеличивается доля генеративных побегов и на 3,4 % уменьшается доля вегетативных (см. табл. 36).

Численность и мощность взрослых особей являются основными признаками жизненности ценопопуляций (Ценопопуляции растений..., 1976). Мощность взрослых особей отражает интенсивность ростовых и органообразовательных процессов и позволяет судить о степени соответствия условий произрастания эколого-биологическим особенностям вида. О мощности отдельных ценобионтов можно судить по достигнутым размерам, т. е. по конечным параметрам, характеризующим отдельные органы (Серая, Чибрик, 1984) (табл. 37–40).

Таблица 37

**Статистическая характеристика морфологических показателей
генеративных ценобионтов *Bromopsis inermis*
(в целом по ценопопуляциям)**

Показатель	\bar{X}_{cp}	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	$\frac{81,9}{76,9}$	$\frac{29,0-143,0}{26,0-123,0}$	$\frac{25,5}{18,9}$	$\frac{31}{26}$
Количество узлов на удлиненной части побега, шт.	$\frac{5,2}{4,2}$	$\frac{3,0-7,0}{2,0-7,0}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{17}{24}$
Общее количество листьев, шт.	$\frac{8,2}{5,9}$	$\frac{6,0-11,0}{4,0-9,0}$	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{14}{19}$
Количество живых листьев, шт.	$\frac{3,3}{3,8}$	$\frac{0,0-6,0}{0,0-7,0}$	$\frac{1,1}{7,2}$	$\frac{33}{28}$
Длина флага, см	$\frac{12,2}{12,9}$	$\frac{0,0-23,5}{5,0-26,0}$	$\frac{3,8}{4,1}$	$\frac{32}{36}$
Ширина флага, см	$\frac{0,5}{0,4}$	$\frac{0,0-1,0}{0,1-1,3}$	$\frac{0,2}{1,6}$	$\frac{33}{41}$
Длина предфлажка, см	$\frac{15,6}{16,3}$	$\frac{0,0-29,3}{7,0-27,0}$	$\frac{4,8}{4,5}$	$\frac{31}{31}$
Ширина предфлажка, см	$\frac{0,7}{0,4}$	$\frac{0,0-1,3}{0,2-1,3}$	$\frac{0,2}{5,6}$	$\frac{30}{30}$
Длина соцветия, см	$\frac{12,7}{-}$	$\frac{6,7-24,3}{-}$	$\frac{3,0}{-}$	$\frac{24}{-}$
Количество веточек в соцветии, шт.	$\frac{23,3}{23,1}$	$\frac{6,0-45,0}{6,0-38,0}$	$\frac{7,7}{7,4}$	$\frac{33}{34}$
Количество колосков в соцветии, шт.	$\frac{31,7}{33,4}$	$\frac{6,0-75,0}{3,0-99,0}$	$\frac{14,6}{16,4}$	$\frac{46}{52}$
Количество цветков в соцветии, шт.	$\frac{195,0}{187,9}$	$\frac{14,0-532,0}{15,0-719,0}$	$\frac{115,0}{125,1}$	$\frac{59}{72}$
Вес побега, г	$\frac{1,3}{1,4}$	$\frac{0,3-4,5}{0,3-4,8}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{60}{66}$

За период наблюдений в целом по ценопопуляциям *Bromopsis inermis* установлено снижение мощности генеративных и вегетативных ценобионтов (табл. 37, 38). Уменьшаются высота побега, количество узлов, общее количество листьев, количество цветков в соцветии и др.

Полученные данные по морфологическому анализу в зависимости от участка показали, что ценопопуляция *Bromopsis inermis* на участке II представлена менее мощными ценобионтами. Жизненность данной ценопопуляции ниже, чем на участке I (табл. 39, 40). Анализ генеративной сферы вскрыл очень интересные особенности в развитии ценопопуляций *Bromopsis inermis*. На участке II численность ценопопуляции ниже, чем на участке I, ниже мощность ценобионтов, но повышается качество состояния генеративной сферы — большее количество образовавшихся семян на одно соцветие и семена одного соцветия имеют больший вес:

на участке I среднее количество цветков в соцветии 153 шт., количество образующихся семян в среднем равно 10, вес семян одного соцветия в среднем 0,04 г; на участке II среднее количество цветков в соцветии 152, а количество образующихся семян — 28, вес семян в среднем 0,10 г. Таким образом, можно предположить, что ценопопуляция *Bromopsis inermis* на участке II поддерживается преимущественно за счет семенного возобновления, которое достигается повышением качества генеративной сферы (соцветие дает большее количество полноценных семян).

Таблица 38

Статистическая характеристика морфологических показателей вегетативных ценобионтов *Bromopsis inermis* (в целом по двум ценопопуляциям)

Показатель	X_{cp}	lim	σ	Cv, %
Высота побега, см	$\frac{81,9}{76,9}$	$\frac{15,0-44,2}{14,0-37,6}$	$\frac{15,78}{11,90}$	$\frac{19}{15}$
Количество узлов, шт.	$\frac{5,2}{4,2}$	$\frac{3-7}{1-7}$	$\frac{1,81}{2,47}$	$\frac{35}{59}$
Общее количество листьев, шт.	$\frac{8,2}{5,9}$	$\frac{5-10}{2-9}$	$\frac{2,01}{2,55}$	$\frac{25}{43}$
Количество живых листьев, шт.	$\frac{3,3}{3,8}$	$\frac{1-6}{2-7}$	$\frac{1,94}{2,08}$	$\frac{59}{55}$
Вес побега, г	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,04-0,64}{0,04-0,54}$	$\frac{0,42}{0,43}$	$\frac{140}{143}$

Анализ всхожести и энергии прорастания семян показал, что *Bromopsis inermis*, выращенный в условиях карьера, образует доброкачественные семена, поэтому можно ожидать и в дальнейшем самоподдержания ценопопуляций (табл. 41). Длительность существования ценопопуляций *Bromopsis inermis* будет находиться в зависимости от фитоценоотического фактора.

Двадцатилетние наблюдения за экспериментальными посевами показали, что особый интерес в условиях карьера представляют бобовые культуры с медленным темпом развития, такие как *Onobrychis arenaria* и *Medicago media*, которые на малопродуктивных породах образуют долгодлительные культурфитоценозы, признаки деградации которых начинают проявляться не ранее 10-летнего возраста.

Onobrychis arenaria и *Medicago media* — поликарпики стержнекорневой формы, относятся к типу моноцентрических биоморф, который характеризуется тем, что корни, побеги и почки возобновления сконцентрированы в едином центре — центре разрастания особи (Ценопопуляции растений..., 1976).

Статистическая характеристика морфологических показателей генеративных
ценобионтов *Bromopsis inermis*

Показатель	Участок I										Участок II			
	Вариант I					Вариант II					Участок II			
	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim				
Высота побега, см	104,5 86,4	41,0–143,0 26,0–122,0	19,35 21,60	19 26	80,1 74,5	47,0–113,0 44,0–123,0	17,43 17,08	22 23	60,0 71,3	29,0–98,0 39,0–106,0	lim	σ	Cv, %	
Количество узлов на углиненной части побега, шт.	5,5 4,7	3,0–7,0 3,0–7,0	0,67 1,03	12 22	5,2 4,4	3,0–7,0 3,0–7,0	0,82 1,83	16 19	4,8 3,7	2,0–6,0 3,0–6,0	0,94 0,93	0,93 0,93	20 25	
Общее количество листьев, шт.	8,3 5,5	6,0–10,0 4,0–8,0	0,95 0,98	11 18	8,6 6,1	6,0–11,0 4,0–9,0	1,18 1,06	14 17	7,8 6,1	6,0–11,0 4,0–8,0	1,29 1,18	1,18 1,18	17 19	
Количество живых листьев, шт.	3,8 3,0	2,0–5,0 1,0–6,0	0,74 0,92	20 30	3,4 3,9	0,0–5,0 2,0–7,0	1,05 1,06	21 27	2,8 4,4	0,0–6,0 0,0–5,0	1,27 1,21	1,27 1,21	45 27	
Длина флага, см	14,1 16,3	0,0–22,4 9,0–25,0	3,92 3,83	28 23	11,9 10,7	0,0–23,5 6,0–22,0	3,68 3,55	31 33	10,5 12,4	3,3–16,6 5,0–26,0	2,87 4,81	2,87 4,81	27 39	
Ширина флага, см	0,5 0,5	0,0–1,0 0,2–1,3	0,18 2,12	34 40	0,5 0,3	0,0–0,7 0,2–0,6	0,15 0,98	34 28	0,5 0,4	0,1–0,8 0,1–1,2	0,14 1,66	0,14 1,66	30 38	
Длина предфлагья, см	18,6 19,4	0,0–29,3 13,0–27,0	5,00 3,80	27 19	14,7 13,9	0,0–25,2 9,0–27,0	4,08 4,01	28 29	13,3 16,1	0,0–21,2 7,0–26,0	3,78 5,39	3,78 5,39	28 33	
Ширина предфлагья, см	0,8 0,7	0,0–1,3 0,2–0,7	0,23 1,06	30 32	0,7 0,5	0,0–1,1 0,4–0,7	0,19 1,21	29 24	0,7 0,6	0,4–1,1 0,2–1,3	0,18 1,87	0,18 1,87	27 33	
Длина соцветия, см	13,5 —	6,9–21,0 —	2,70 —	20 —	12,3 —	6,9–23,7 —	3,08 —	25 —	12,3 —	6,7–24,3 —	3,13 —	3,13 —	25 —	
Количество веточек в соцветии, шт.	25,2 25,2	6,0–45,0 6,0–38,0	8,02 6,89	32 27	21,8 19,1	6,0–36,0 3,0–39,0	6,86 7,33	32 38	23,0 25,3	8,0–42,0 6,0–37,0	7,95 7,72	7,95 7,72	35 31	
Количество колосков в соцветии, шт.	35,4 39,4	6,0–67,0 6,0–84,0	14,28 17,40	44 44	28,9 24,9	6,0–55,0 3,0–65,0	12,60 12,10	44 49	30,9 36,8	7,0–75,0 7,0–99,0	16,27 19,09	16,27 19,09	53 52	
Количество цветков в соцветии, шт.	224,3 263,2	16,0–532,0 31,0–675,0	118,89 16,98	53 51	168,3 127,0	14,0–356,0 15,0–397,0	87,84 76,64	52 60	192,7 185,4	30,0–513,0 30,0–719,0	130,65 129,76	130,65 129,76	68 69	
Вес побега, г	1,7 1,8	0,3–4,5 0,4–4,8	0,89 1,09	51 59	1,2 1,0	0,3–3,0 0,3–3,3	0,63 0,63	51 63	1,0 1,4	0,3–2,6 0,3–4,1	0,61 0,85	0,61 0,85	63 61	

Примечание. Вариант I — культура-предшественник *Oenothera biennis* var. *apartia*; вариант II — культура-предшественник *Bromopsis inermis*.

Анализ структур ценопопуляций *Onobrychis arenaria* и *Medicago media* проводится на основе представлений о явлениях анизотропности, неоднородности в горизонтальном и вертикальном направлении (Василевич, 1970; Заугольнова и др., 1988; Заугольнова, Шорина, 1971; Уранов, 1960).

Проведенные исследования показали, что пространственная структура ценопопуляций *Onobrychis arenaria* и *Medicago media*, произрастающих в условиях Коркинского угольного карьера, характеризуется вертикальной и горизонтальной неоднородностью, что проявляется в дифференциации ценобионтов по высоте и равномерном или неравномерном размещении особей в пределах культурфитоценозов (Глазырина, 1997; Глазырина, Пасынкова, 1997).

Таблица 40

Статистическая характеристика морфологических показателей вегетативных ценобионтов *Bromopsis inermis*

Показатель	Участок I						Участок II					
	Вариант I			Вариант II			Вариант I			Вариант II		
	X_{cp}	lim	σ	$Cv, \%$	X_{cp}	lim	σ	$Cv, \%$	X_{cp}	lim	σ	$Cv, \%$
Высота побега, см	57,66 42,95	32,0–88,0 17,0–80,0	12,04 13,58	21 32	44,87 32,44	26,0–68,0 14,0–66,0	10,58 10,61	24 33	28,82 37,00	15,0–51,0 20,00–63,0	8,68 8,11	30 22
Количество узлов, шт.	7,92 7,63	3–11 4–13	1,70 1,79	21 23	7,44 6,42	3–11 1–10	1,78 2,51	24 39	6,45 8,49	3–11 2–16	1,67 2,69	26 32
Общее количество листьев, шт.	11,09 9,03	7–14 5–14	1,64 1,88	15 21	10,10 8,14	5–15 2–13	1,98 2,62	20 32	9,00 9,92	6–13 4–17	1,87 2,87	21 29
Количество живых листьев, шт.	7,32 6,92	3–10 3–11	1,47 1,63	20 24	6,15 6,98	2–9 2–11	1,79 2,22	29 32	5,18 7,31	1–10 2–12	1,95 2,39	38 33
Вес побега, г	0,81 0,57	0,21–2,19 0,08–2,68	0,48 0,48	59 84	0,69 0,46	0,19–1,93 0,04–2,19	0,37 0,42	54 91	0,39 0,59	0,04–1,26 0,11–1,85	0,25 0,36	64 61

Примечание. Вариант I — культурно-предшественник *Onobrychis arenaria*; вариант II — культурно-предшественник *Bromopsis inermis*.

Пространственная структура ценопопуляций данных видов есть совокупный результат различных популяционных, биоценологических, экотопических влияний на элементы ценопопуляции. С помощью пространственной структуры реализуются основные адаптивные возможности ценопопуляции. Пространственная структура представляет один из способов достижения оптимальной плотности ценопопуляции в условиях ценологической конкуренции (Ценопопуляции растений..., 1988).

Плотность ценобионтов *Onobrychis arenaria* составила: на участке I — 64 особи (659 побегов) на 8 м², на участке II — 62 особи (1 523 побега) на 8 м² (табл. 42).

Вертикальная структура ценопопуляции теснейшим образом связана с размерами и возрастным состоянием растений (Ценопопуляции растений..., 1988).

Исследования показали, что ценопопуляция *Onobrychis arenaria* на участке I характеризуется двувершинным спектром, содержащим две модальные группы, одна из них

Таблица 41

Всхожесть и энергия прорастания семян

Вид	Год	Уча- сток	Дата		Энергия прорастания, %					Всхожесть, %					
			Посев	Контроль		Повторности					Повторности				
				энергии прорастания	всхожести	1	2	3	4	X _{ср}	1	2	3	4	X _{ср}
<i>Bromopsis thermis</i>	1990	I	29.04	03.05	09.05	82	79	74	73	77,0	89	85	78	80	83,0
	1994		14.04	18.04	24.04	29	35	56	63	46,0	72	75	80	77	76,0
	1990	II	29.04	03.05	09.05	69	69	73	71	70,5	72	74	76	76	74,5
	1994		14.04	18.04	24.04	61	37	59	72	57,0	77	62	72	85	74,0
<i>Onobrychis arenaria</i>	1990	I	29.04	02.05	06.05	72	71	–	–	71,5	85	85	–	–	85,0
	1994		14.04	17.04	21.04	23	17	4	15	14,7	77	85	67	80	77,2
	1990	II	29.04	02.05	06.05	74	73	76	75	74,5	91	90	96	96	93,3
	1994		15.04	18.04	22.04	13	6	8	6	8,2	33	34	32	47	36,5

относится к молодой, другая — к старой части ценопопуляции (рис. 4). Такие соотношения возрастных групп весьма характерны для длительно живущих стержнекорневых многолетников с регулярным возобновлением (Ценопопуляции растений..., 1988). Основная масса растений находится в генеративном состоянии, что составляет 78,1 %, в вегетативном же всего 21,9 %. Отклонение распределения по возрастному спектру в сторону увеличения числа генеративных особей, возможно, объясняется ежегодным скашиванием, что мешает естественному процессу семенного возобновления. Для ценопопуляции участка II характерен левосторонний спектр, абсолютный максимум в нем приходится на молодые особи. Так, в ценопопуляции молодые особи составляют 62,3 %, а генеративные — 37,7 %. На наш взгляд, ценопопуляция *Onobrychis arenaria* на участке I является нормальной полночленной, на участке II — инвазионной (Работнов, 1945, 1950а, б). Растения *Onobrychis arenaria*, выращенные в условиях карьера, образуют доброкачественные семена: всхожесть семян изменяется в зависимости от участка и года сбора — от 85 до 93 % (1990 г.) и от 36,5 до 77 % (1994 г.) (см. табл. 41). На участке II пополнение банка семян происходит постоянно и не нарушается скашиванием.

Таблица 42

**Плотность ценобионтов *Onobrychis arenaria*
в ценопопуляциях**

Участок	Число особей, шт./м ²		Число побегов, шт./м ²	
	Вегетативные	Генеративные	Вегетативные	Генеративные
I	1,75	6,25	11,25	71,13
II	4,92	2,83	11,96	51,50

Возрастные спектры исследуемых ценопопуляций показали, что *Onobrychis arenaria* в условиях карьера проходит весь жизненный цикл развития.

Согласно исследованиям Е. Я. Ильиной (1969), онтогенез растения-поликарпика в морфологическом отношении являет собой систему последовательно сменяющихся монокарпических побегов, побег является основной морфологической структурной единицей растения.

Морфологическая структура изучаемого вида на выделенных вариантах достаточно сложная. Морфологический анализ позволяет охарактеризовать и оценить жизненность ценопопуляций через оценку жизненного состояния отдельных ценобионтов.

Ценопопуляции *Onobrychis arenaria* незначительно отличаются друг от друга по морфологическим показателям генеративных ценоби-

онтов, поэтому анализ их статистической характеристики дается в целом (табл. 43).

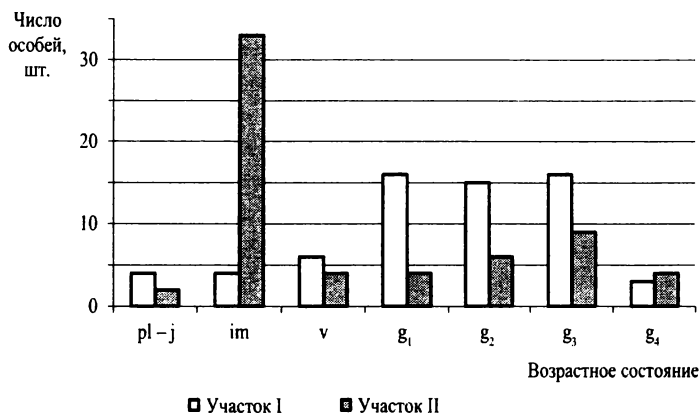


Рис. 4. Возрастные спектры ценопопуляций *Onobrychis arenaria* (14-го года жизни культурфитоценоза)

Таблица 43

Статистическая характеристика морфологических показателей генеративных ценобионтов *Onobrychis arenaria* (в целом по ценопопуляциям)

№ п/п	Показатель	X_p	lim	Cv, %
1	Высота побега, см	71,8	27–113	27
2	Количество узлов на побеге I порядка, шт.	3–10	6,6	22
3	Количество зеленых листьев на побеге I порядка, шт.	8,5	4–15	29
4	Длина самого большого листа, см	17,7	7–37	24
5	Количество предфлажй, шт.	1,3	1–5	58
6	Длина предфлажй, см	7	1–11	88
7	Количество побегов II порядка, шт.	0,6	0–5	164
8	Длина побегов II порядка, см	20,4	0–84	201
9	Количество соцветий, шт.	3,4	1–21	64
10	Количество цветков на одном ценобионте, шт.	108,48	4–182	107
11	Вес побега, г	2,07	0,33–11,44	74

Для сравнения изменчивости различных признаков был вычислен коэффициент вариации (Cv). Согласно П. Ф. Рокицкому (1964), Cv дает возможность сравнивать изменчивость признаков, выражающихся в различных единицах измерения, через их степень изменчивости. Чем более

однороден изучаемый материал (по происхождению, условиям выращивания и т. д.), тем меньшими окажутся *Cv*. Однако даже при достаточно однородном материале степень изменчивости различных признаков может быть различна, что зависит от особенностей самих признаков. Коэффициенты вариации признаков, характеризующих генеративные ценобионты *Onobrychis arenaria* в целом по ценопопуляциям, колеблются от 22 до 201. Наименее вариабельны следующие признаки: высота побега, количество узлов и зеленых листьев, длина самого большого листа на побеге I порядка (22–29 см).

Высота побега I порядка колеблется в пределах от 27 до 113 см и в среднем составляет 71,8 см. Количество узлов — 3–10, в среднем — 6,6; количество зеленых листьев на побеге I порядка — 4–15, в среднем — 8,5; длина самого большого листа 7–37 см, в среднем — 17,7 см. Эти данные позволяют судить об *Onobrychis arenaria* как о мощном растении 1-го яруса, с хорошо развитой надземной частью и ассимиляционным аппаратом.

Более четко различия между вариантами прослеживаются в морфологии вегетативных ценобионтов (табл. 44). Ценопопуляция *Onobrychis arenaria* на участке I представлена более мощными ценобионтами: средняя высота побегов составила 32,4 см, вес побега в среднем — 0,45 г, на участке II средняя высота побега — 25,3 см, вес побега в среднем — 0,43 г. *Cv* признаков, характеризующих вегетативные ценобионты *Onobrychis arenaria* в целом по ценопопуляциям, отличаются средними значениями (17–35 %). Исключением является вес побега, его *Cv* 57–60 %.

Таблица 44

Статистическая характеристика морфологических показателей вегетативных ценобионтов *Onobrychis arenaria*

№ п/п	Показатель	Участок I			Участок II		
		X_{cp}	lim	<i>Cv</i> , %	X_{cp}	lim	<i>Cv</i> , %
1	Высота побега, см	32,4	16–61	33	25,3	13–59	27
2	Количество узлов на побеге I порядка, шт.	3	1–5	28	4,3	1–9	35
3	Количество зеленых листьев на побеге I порядка, шт.	5	2–10	33	5	2–11	35
4	Длина самого большого листа, см	18,0	7–25	18	16,7	10–26	17
5	Вес побега, г	0,45	0,06–1,35	60	0,43	0,07–1,41	57

Таким образом, у вегетативных ценобионтов изменчивость признаков и коэффициенты вариации ниже. Возможно, это характерно для данного состояния или среда оказывает на них меньшее влияние.

Ценопопуляция *Onobrychis arenaria* исследовалась с использованием метода факторного анализа. На основе анализа корреляционной матрицы по морфологическим признакам генеративных ценобионтов были построены дендрограмма и граф сходства (рис. 5), которые наглядно отображали распределение признаков на две группы.

Первая группа включает в себя признаки, характеризующие мощност ценобионтов. Внутри этой группы можно выделить две подгруппы. Одна из них объединяет признаки, характеризующие генеративные органы данного вида: количество цветков на одном ценобионте и количество соцветий. С данными признаками тесно связан вес побега (коэффициент корреляции 0,8–0,9). Во вторую подгруппу входят признаки, характеризующие вегетативную часть ценобионта: его высота, число и длина побегов II порядка.

Коэффициенты корреляции во второй группе имеют гораздо более низкие значения (0,2–0,6). В эту группу входят следующие признаки: число узлов и число зеленых листьев на побеге I порядка, длина самого большого листа, число «предфлажй», их суммарная длина. По-видимому, эти признаки характеризуют ассимилирующую систему *Onobrychis*.

При анализе вегетативных ценобионтов на дендрограмме четко выделились две группы признаков. Первая группа — признаки, характеризующие ассимиляционную поверхность растения: количество узлов и число зеленых листьев на побеге I порядка. Вторая группа включает в себя признаки, характеризующие мощност ценобионтов: высоту и вес побега, длину самого большого листа на побеге I порядка. Сильнее связь между признаками наблюдается в первой группе (коэффициент корреляции 0,81), тогда как во второй группе коэффициенты корреляции относительно невысоки — от 0,44 до 0,6.

Onobrychis arenaria проходит весь жизненный цикл развития и имеет сложную морфологическую структуру. Возрастная и морфологическая структура выделенных вариантов в целом отражает удовлетворительную жизненност ценопопуляций исследуемого вида.

Medicago media на I и II участках представлена в двух ярусах и создает аспект. При исследовании ценопопуляций *Medicago media* выявлено снижение проективного покрытия на участке I: если в 1992 г. среднее проективное покрытие учетных площадок было 80,9 % (обилие сор₁), то в 1993 г. оно составило 19,5 % (обилие sp gr). Растения неравномерно распределены по площади при достаточно большой плотности — 268 особей (1 558 побегов) на 8 м².

Вертикальная структура ценопопуляции теснейшим образом связана с размерами и возрастным состоянием растений. Возрастной состав

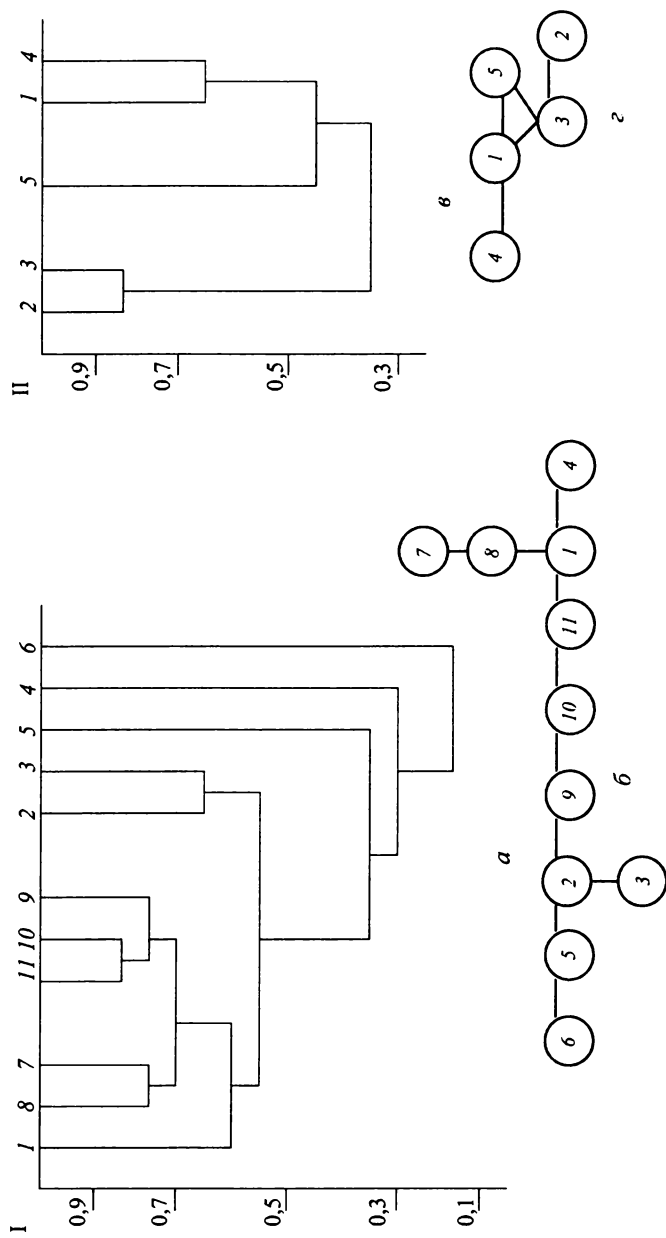


Рис. 5. Дендрограммы (а, б) и графы сходства (а, б) по корреляционным связям морфологических признаков генеративных (I) и вегетативных (II) ценобионтов: 1-11 — морфологические признаки (см. табл. 43, 44)

представляет собой один из существенных признаков популяций. От этой стороны структурной организации зависит способность популяционной системы к самоподдержанию и ее устойчивость (Ценопопуляции растений..., 1988).

В первые 7–10 лет семенного возобновления *Medicago media* практически не наблюдалось. *Medicago media* характеризуется низкими и неустойчивыми урожаями семян. В большинстве случаев снижение семенной продуктивности данного вида происходит вследствие опадения бутонов, цветков, осыпания бобов и образования в них щуплых семян. Кроме того, *Medicago media* является растением длинного дня, требует интенсивной инсоляции, богатой коротковолновой радиацией. Поэтому в годы с пасмурной погодой, даже при наличии других благоприятных условий, *Medicago* обильно осыпает бутоны и цветки (Ильина, 1969). По данным П. В. Лебедева и Н. П. Углова (1961), свежесобранные семена *Medicago media* содержат большой процент твердокаменных семян. При хранении герметичность оболочки семян нарушается и всхожесть их повышается. Семена сохраняют свою всхожесть до 10–12 лет. Все вышеперечисленное, вероятно, и стало причиной задержки семенного возобновления изучаемой культуры. На делянках 14-летнего возраста уже наблюдается семенное возобновление, что хорошо видно из рис. 6.

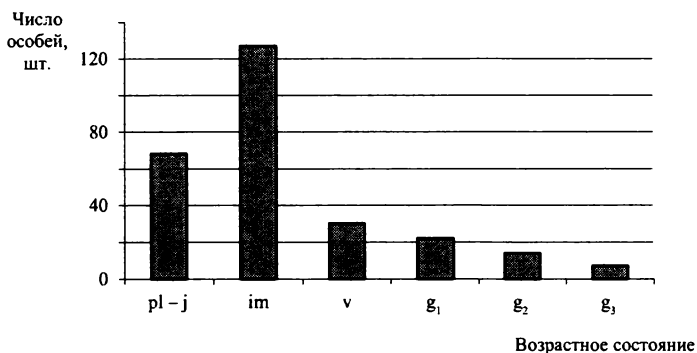


Рис. 6. Возрастной спектр ценопопуляции *Medicago media* на участке I (14-го года жизни)

Ценопопуляция *Medicago media* отличается левосторонним возрастным спектром. Значительно преобладают вегетативные особи — 84 %, занимающие в основном 3-й ярус, и только 16 % составляют генеративные растения, занимающие 2-й ярус. Согласно полученным данным, ценопопуляцию *Medicago media* можно назвать инвазионной (Работнов, 1945).

При проведении морфологического анализа ценобионт (побег) рассматривался как отдельная фитоценотическая счетная единица. Ценобионты брались по таблице случайных чисел, по 50 шт. для каждого варианта. У растений первого года жизни за осевой побег, т. е. побег I порядка, принимался побег, развивающийся из зародышевой почки семени; у растений последующих лет побегом I порядка условно считалась ось побега кушения. Согласно исследованиям Е. Я. Ильиной (1969), монокарпические побеги *Medicago media* разных лет жизни являются побегами разных порядков, но имеют общие черты морфологической структуры. Почки возобновления, из которых развиваются данные побеги, в процессе заложения и формирования претерпевают омоложение и качественно отличаются от обычных боковых почек, из которых развиваются побеги ветвления.

Анализ генеративных и вегетативных ценобионтов *Medicago media* приведен в табл. 45 и 46.

Таблица 45

Статистическая характеристика морфологических показателей генеративных ценобионтов *Medicago media*

Показатель	Участок I			Участок II		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Высота побега, см	71	38–106	19	53	30–95	34
Количество узлов на побеге I порядка, шт.	16	6–25	24	15	8–22	23
Количество зеленых листьев на побеге I порядка, шт.	8	0–12	30	9	0–14	28
Длина самого большого листа, см	4	0–6	23	4	3–6	22
Количество предфлажй, шт.	15	1–67	90	11	0–50	99
Длина предфлажй, см	20	1–81	87	18	0–87	116
Количество побегов II порядка, шт.	14	2–25	38	13	0–27	97
Длина побегов II порядка, см	115	1–289	64	58	0–291	113
Количество побегов III и высшего порядков, шт.	29	0–112	92	9	0–74	211
Длина побегов III и высшего порядков, см	59	0–254	121	15	0–168	213
Количество соцветий, шт.	25	1–85	81	14	1–61	94
Количество цветков в соцветиях, шт.	90	1–327	80	58	0–285	118
Вес побега, г	1,82	0,11–5,16	64	1,02	0,14–4,13	104

**Статистическая характеристика морфологических показателей
вегетативных ценобионтов *Medicago media***

Показатель	Участок I			Участок II		
	X_{cp}	lim	Cv, %	X_{cp}	lim	Cv, %
Высота побега, см	31	14–54	26	30	16–43	19
Количество узлов на побеге I порядка, шт.	8	4–13	25	10	5–14	21
Количество зеленых листьев на побеге I порядка, шт.	6	0–10	33	7	1–10	34
Длина самого большого листа, см	4	0–5	22	3	2–6	3
Количество побегов II порядка, шт.	2	0–7	108	3	0–10	93
Длина побегов II порядка, см	5	0–36	150	9	0–48	138
Вес побега, г	0,27	0,01–7,76	396	0,15	0,02–0,43	53

При анализе статистических характеристик морфологических показателей генеративных ценобионтов по величине Cv признаки можно разделить на следующие группы. Первая группа признаков с низкими показателями вариации — 19–34. Сюда входят четыре признака: высота побега, количество узлов на побеге I порядка, количество зеленых листьев на побеге I порядка и длина самого большого листа. По этим признакам можно судить о жизненной силе ценобионтов и об однородности генетического материала в данной популяции. На них следует обратить особое внимание при изучении ценопопуляций *Medicago media*. Во вторую группу вошли остальные признаки, с Cv от 64 до 213, что говорит о нестабильности этих признаков и вызывает некоторую долю сомнения при характеристике жизнеспособности ценобионтов. Следует также обратить внимание на количество (Cv от 38 [участок I] до 97 [участок II]) и длину (Cv от 64 [участок I] до 113 [участок II]) побегов II порядка, а также на количество цветков в соцветиях, этот признак имеет Cv от 8 (участок I) до 118 (участок II). Все эти признаки зависят от возрастного состояния особи и не могут напрямую использоваться для характеристики жизнеспособности ценопопуляции.

Варианты различаются между собой по морфологическим признакам. О мощности ценобионтов данного вида можно судить по величинам средних арифметических. Ценобионты I участка превосходят ценобионтов II участка: средняя высота побегов составила 70,96 и 52,96 см соответственно. Исключение составляют количество зеленых листьев на побеге I порядка и длины самого большого листа. Значительно различаются

ценопопуляции по длине побегов II порядка (114,68 и 58,34 см соответственно) при равном количестве данных побегов, а также по количеству (28,56; 9,28) и длине побегов III и высшего порядков (59,0 и 15,38 см соответственно). В ценопопуляции I участка количество соцветий и цветков в соцветиях в 1,7 раза больше, чем на II участке. Аналогичные различия между вариантами прослеживаются и в морфологии вегетативных ценобионтов (см. табл. 46).

Все вышеперечисленное позволяет судить о *Medicago media* как о мощном растении 2-го яруса с хорошо развитой надземной частью и ассимиляционным аппаратом.

Medicago media проходит весь жизненный цикл развития и имеет сложную морфологическую структуру. Возрастная и морфологическая структура выделенных вариантов в целом отражает удовлетворительную жизненность ценопопуляций исследуемого вида.

Таким образом, *Bromopsis inermis*, *Onobrychis arenaria* и *Medicago media* являются перспективными видами для биологической рекультивации Коркинского угольного карьера. Возрастная и морфологическая структуры ценопопуляций *Bromopsis inermis*, *Onobrychis arenaria* и *Medicago media* в целом отражают удовлетворительную жизненность. Данные виды на малопригодных породах образуют долголетние культурфитоценозы, сохраняющиеся в удовлетворительном состоянии около 20 лет, и проходят весь жизненный цикл развития. Признаки деградации культурфитоценозов начинают проявляться не ранее 10-летнего возраста.

1.4. Сравнительный анализ опыта биологической рекультивации исследованных рекультивированных отвалов

В качестве ключевых объектов исследования трансформации культурфитоценозов выбраны следующие промышленные отвалы (табл. 47).

Причина выбора обусловлена тем, что они являются примерами успешного долгосрочного существования культурфитоценозов, созданных в эксперименте и при биологической рекультивации. Эти рекультивированные отвалы представляют определенный научный интерес, поэтому на них осуществлялся долгосрочный локальный экологический мониторинг, что дало возможность составить их обобщенную характеристику и определить их значимость в плане выявления экологических основ биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. При анализе использованы отвалы как горнодобывающей, так и перерабатывающей промышленности с производственными и экспери-

Характеристика рекультивированных объектов

Рекультивированные объекты	Группа пригодности субстратов для биологической рекультивации	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия улучшения свойств субстрата	Мероприятия биологического этапа рекультивации	Направления использования
<i>Отвалы горнодобывающей промышленности</i>					
Отвалы Ботословского и Вессловского бурогольных месторождений (на примере Турьинских и Северного Вессловского)	Пригодные, малопритонные	Планировка поверхности	Без улучшения, НРК, торф	Производственный посев многолетних трав <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Amorpha terrens</i>	Долговременные пастбищно-сенокосные угодья
Гидроотвалы Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота	То же	То же	Без улучшения (контроль), с внесением микробиологического реагента (МБР)	Экспериментальный посев многолетних трав <i>Festuca pratensis</i> , <i>Festuca arundinacea</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Amorpha hybridum</i> , <i>Amorpha terrens</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Elymus fibrosus</i>	Санитарно-гигиенический; научное — подбор ассортимента видов для биологической рекультивации и определение перспективности использования МБР
<i>Отвалы перерабатывающей промышленности</i>					
Золотоотвал СУГРЭС	То же	Сплошное нанесение слоя торфа (намыв)	—	Производственный посев многолетних трав <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	Санитарно-гигиенический; сенокосные угодья

Рекультивированные объекты	Группа пригодности субстратов для биологической рекультивации	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия улучшения свойств субстрата	Мероприятия биологического этапа рекультивации	Направления использования
Золотавал ВТГРЭС	То же	Полосное нанесение грунта с планировкой полос	Без улучшения	Посев на грунтовые полосы многолетних трав <i>Agrropyron cristatum</i> , <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Medicago media</i> , <i>Onobrychis arenaria</i> и др. Самозаращение	Санитарно-гигиеническое; рекреационное, научное — подбор ассортимента видов для биологической рекультивации
		Раскорчевка деревьев и кустарников	Нанесение торфа	Производственный посев многолетних трав <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	Пастбищно-сенокосные угодья
Золотавал ЮУГРЭС	То же	Нанесение плодородного слоя почвы	Без улучшения	Посев многолетних трав <i>Onobrychis arenaria</i> , <i>Medicago media</i> , <i>Bromopsis inermis</i> и <i>Agropyron cristatum</i>	В первые годы пастбищно-сенокосные угодья, в последующем санитарно-гигиеническое и рекреационное
Коркинский угольный карьер	То же	Планировка поверхности берм	Без улучшения (контроль), внесение НРК (опыт)	Посев 13 видов многолетних трав, в том числе <i>Onobrychis arenaria</i> , <i>Medicago media</i> и <i>Bromopsis inermis</i>	Научное — подбор ассортимента видов для биологической рекультивации

ментальными посевами. Особо выделены экспериментальные посевы, проведенные в Коркинском угольном разрезе (Челябинский бурогольный бассейн, г. Коркино, Челябинская обл.).

Первым этапом при предпроектных изысканиях является всестороннее изучение свойств субстрата с последующей классификацией по пригодности его для биологической рекультивации (ГОСТ 17.5.1.03-86, 1986). Субстрат проанализированных отвалов различается по свойствам, но сходной является группа его пригодности для биологической рекультивации: пригодные и малопригодные. Это, как правило, нетоксичные субстраты, но с неблагоприятными физическими и водно-физическими свойствами, бедные доступными элементами питания для растений. В целом условия экотопов на рассмотренных промышленных объектах неблагоприятные. Техническая подготовка их поверхности делает биологическую рекультивацию возможной, но не ликвидирует все неблагоприятные свойства отвалов как специфических экотопов. Преодоление или сведение к минимуму неблагоприятных экологических условий возможно в двух направлениях: за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата (водно-физических, агрохимических и др.) и подбора подходящего для соответствующих условий ассортимента видов. Реально рекультивация отвалов показывает, что в большинстве случаев используются оба направления.

Меры улучшения свойств субстрата (см. табл. 47) обычно сводятся к внесению комплекса минеральных и органических удобрений и использованию микробиологического реагента.

Направление использования рекультивированных территорий определяется комплексом мероприятий технического и биологического этапов рекультивации. В любом случае биологическая рекультивация имеет экологический эффект, нейтрализуя отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду и способствуя ее оздоровлению, или позволяет возвратить отвальным площадям их хозяйственную ценность.

Пример более быстрой деградации растительности на рекультивированной части золоотвала ЮУГРЭС по сравнению с золоотвалом ВТГРЭС показывает, что важными являются зонально-климатические условия, т. е. при прочих равных условиях зональное положение отвалов. На примере Северных Веселовских отвалов видно, что большую роль играет соблюдение комплекса агротехнических мероприятий, без этого идет быстрая деградация созданных при рекультивации культурфитоценозов, существенное снижение их продуктивности и изменение структуры в направлении сближения с естественными фитоценозами.

В целом ассортимент видов для биологической рекультивации промышленных отвалов таежной и лесостепной зон Урала разработан и апробирован экспериментально и в производственных масштабах. В табл. 47 показаны возможные варианты улучшения свойств субстрата, но они полностью зависят от возможности предприятий — держателей промышленных отвалов. Следует отметить, что запасов почвы, потенциально плодородных и даже группы малопригодных пород большинство предприятий Урала не имеют. В связи с этим в свое время на отвалах угольных месторождений Карпинско-Волчанского бурогоугольного района и была опробована биологическая рекультивация на породах без их перекрытия. Эта технология дала хорошие результаты и была использована на больших площадях, где созданы долговременные сенокосные и пастбищно-сенокосные угодья достаточно высокой продуктивности. Кроме того, с целью расширения и уточнения ассортимента многолетних трав проведены экспериментальные посевы на нарушенных землях Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота (8 видов) и в Коркинском угольном карьере (13 видов) многолетних трав и осуществлен долговременный мониторинг их состояния.

Большинство промышленных отвалов имеют своеобразный несбалансированный фон микроэлементного состава по сравнению с почвой. Наблюдается существенный избыток одних тяжелых металлов и недостаток других. Поэтому на рекультивированных отвалах необходимо следить за качеством получаемой продукции. Недостающие элементы могут быть внесены в виде удобрений, снизить накопление избыточных элементов очень трудно.

На Северном Веселовском отвале внесение макроудобрений улучшало питательную ценность макросостава возделываемых многолетних трав, но не оптимизировало микроэлементный состав. Под влиянием внесенных удобрений концентрация одних микроэлементов уменьшается, а других может увеличиваться. Несколько снизилось накопление таких избыточных элементов, как Co, Cr, Ti, Ni, хотя среднее их содержание по-прежнему остается выше нормы. Под влиянием удобрений увеличилось накопление Mn в 1,5–40 раз, у некоторых видов V, Cu и B. Содержание Cu возросло так резко, что нормальное или недостаточное количество ее в растениях на удобренных участках переходит в избыточное на удобренных (у *Phleum pratense* в 51 раз). Следовательно, внесение макроудобрений на промышленных отвалах может не только улучшить химический состав растений, но и ухудшить его, поэтому необходимы специально разработанные смеси удобрений, способствующие увеличе-

нию содержания в растениях недостающих элементов и снижению накопления избыточных (Махонина, 1985).

Выявлены различия в содержании химических элементов в растениях, культивируемых на вскрышных глинистых породах Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота, и растениях, произрастающих в естественных условиях, которые рассматривались нами как фоновые. Содержание макроэлементов (K, Ca, Na, Mg) в растениях, произрастающих на гидроотвале, ниже, а микроэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Co) значительно выше независимо от стадии онтогенеза растений. В фитомассе всех испытываемых злаковых растений прегенеративного периода жизни накапливались в значительных количествах Mn (выше фона в 2–10 раз), Fe (в 4 раза), Cu (превышение фона в 2–10 раз), Zn (в 3–4 раза), Co (в 2–10 раз). В фитомассе генеративных особей 6–7-го года жизни содержание этих элементов в пределах нормы отмечалось только у *Elymus fibrosus*. Высокое содержание Cu обнаружено в фитомассе *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense* (выше фона соответственно в 44 и 47 раз), превышение Mn в фитомассе *Bromopsis inermis* — в 2 раза, *Phleum pratense* — в 1,7 раза и *Festuca arundinacea* — в 1,2 раза, у *Phleum pratense* превышение Zn в 5 раз и Co — в 29 раз.

Таким образом, глинистые субстраты гидроотвала Шуралино-Ягодного месторождения золота характеризуются повышенным содержанием водорастворимых форм тяжелых металлов, особенно Cu, Zn, Ni, Mn и Cd. Травянистые растения, культивируемые на гидроотвале, также своеобразны по химическому составу, отличаются низким содержанием макроэлементов и высоким — микроэлементов.





2. СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СЕРИАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ, ВОЗНИКШИХ В ПРОЦЕССЕ САМОЗАРАСТАНИЯ

2.1. Краткая характеристика изученных техногенных объектов

Современные темпы разработки полезных ископаемых, деятельность перерабатывающей промышленности, промышленного и гражданского строительства и т. п. нередко приходят в противоречие с проблемой сохранения земель и охраны природы.

Для восстановления нарушенных площадей и предотвращения вредного влияния их на природную среду проводится рекультивация, в процессе которой всегда учитывается мотивированное формирование ландшафта и создание определенной природной среды.

Под рекультивацией земель понимается комплекс работ, направленных на восстановление биологической продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей природной среды. Речь в данном случае идет о биологической рекультивации.

На Урале имеются значительные площади промышленных отвалов, где восстановление нарушенных почвенного и растительного покровов идет естественным путем. В то же время имеется 30–40-летний опыт биологической рекультивации. Эта особенность Урала обусловила основной методологический подход: всестороннее комплексное исследование растительности, формирующейся на нарушенных промышленностью землях в процессе самозарастания и при биологической рекультивации, т. е. использование индикационной роли растительности. Это вполне правомерно в экстремальных условиях (Миркин и др., 2000), характерных для большинства промышленных отвалов. Комплексность проблемы рекультивации нарушенных земель многократно подчеркивалась многими ис-

следователями этой проблемы (Гаджиев и др., 2001; Моторина, 1978; Чибрик, Елькин, 1991; и др.).

Фитоценоз рассматривается нами как интегральный показатель пригодности нарушенных промышленностью земель для биологической рекультивации, а при естественном восстановлении почвенного и растительного покровов (процесс самозаращения) — как наиболее доступный для изучения и информативный компонент биогеоценозов (техногенных экосистем) для оценки степени их сформированности, экологической и хозяйственной ценности, прогноза их развития (Чибрик, Елькин, 1991).

В исследованиях по биологической рекультивации нами используется комплексная программа по изучению фитоценозов техногенных ландшафтов (рис. 7).

Наиболее полно комплексные исследования фитоценозов техногенных ландшафтов в плане вышеприведенной программы проводились на охарактеризованных в табл. 48 объектах.

Естественное заращение изучалось на разновозрастных участках. Обследование отвальных и карьерных площадей проводилось детально-маршрутным методом. При этом выделялись наиболее типичные сообщества. Принцип выделения сообществ основан на смене доминирующих видов и смене условий произрастания. Геоботаническое описание растительности ключевых участков проведено по стандартной геоботанической методике с использованием рекомендаций А. А. Корчагина (1964), В. М. Понятовской (1964).

Выделение стадий сингенеза производилось на основе схемы, предложенной А. Г. Вороновым и Л. Н. Тагуновой

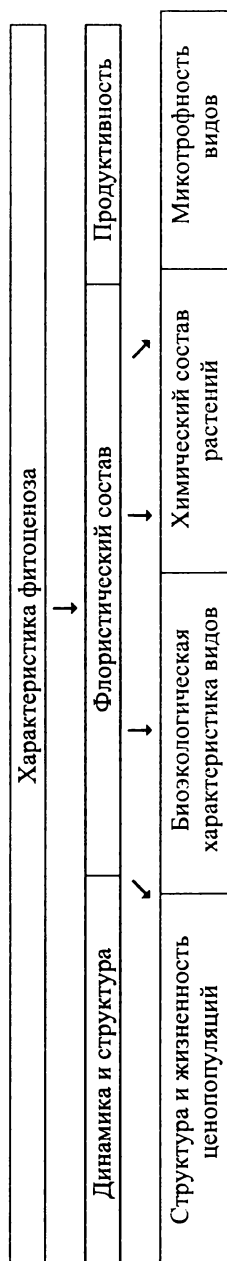


Рис. 7. Блок-схема программы по изучению фитоценозов техногенных ландшафтов

Изученные техногенные объекты и их краткая характеристика

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Площадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизическая характеристика	Примечание (индивидуальные особенности)
<i>Отвалы горнодобывающей промышленности</i>							
1	Южный Веселовский отвал, в составе Карпинского Волчанского бурогольного бассейна (г. Карпинск, Свердловская обл.)	Южная граница Северного Урала, восточный склон, низкотермальные массивы (200–400 м), тазовая зона, подзона средней тайги (Махонина, Чибрик, 1978; Рундквист, Залдорина, 2009)	154	Комплекс грунто-смесей: ожелезненные пески, аргиллиты в смеси с песчаниками и углистами аргиллитами (Биологическая рекультивация и мониторинг..., 2007)	Песчаники и их смеси с аргиллитами: реакция среды — от сильнокислой до слабощелочной, содержат среднее количество гидролизного N, бедны K, средние и хорошо обеспечены подвижными формами P (Махонина, Чибрик, 1978)	Опасные сульфидные каменности 10–40 %	По положению к естественному рельефу: нагорный (перепад высот от 2 до 20 м), рельеф грядово-буристый
2	Евстониинский отвал (железрудный месторождение: г. Нижний Тагил, Свердловская обл.)	Средний Урал, восточный склон, низкотермальные массивы (200–400 м), тазовая зона, подзона южной тайги	110	Скальные горные породы: габбро, гнейсы, сланцы, желтые и серые сульфиды (Биологическая рекультивация нарушенных земель, 2003; Махонина, 1987)	pH от кислой до нейтральной, степень обеспечения P, O ₂ — от средней до высокой, K, O ₂ — от низкой до средней, засоления нет (Махонина, 1987)	Каменность высокая: 50–90 %	Рельеф грядово-буристый. Особенности вскрышных скальных пород: малая скорость выветривания. Имеются участки с разным по механическому составу субстратом
3	Галкинские отвалы № 3 и № 4 мраморизованного известняка (пос. Билимбай, Первоуральский ГО, Свердловская обл.)	Средний Урал, низкотермальные горные массивы (400–600 м), тазовая зона, подзона южной тайги	12,4	Известняки, запесоченные глины с галечной кварцита и обломками известняка	Грунтосмеси отвалов карбонатные, реакция среды щелочная (pH 7,3–7,5), не засолены, доступны фосфаты практически отсутствуют, обеспеченность K очень низкая (Махонина, 2003)	Каменность 60–80 %. Известняки обладают высокой крепкостью и вязкостью	Отвал № 3 — 4-ярусный, высота 45 м; отвал № 4 — 2-ярусный, высота — 30 м

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Площадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизическая характеристика	Примечание (индивидуальные особенности)
4	Сухореченский доломитовый отвал (пос. Билимбай, Первоуральский ГО, Свердловская обл.)	Средний Урал, низкотеррасные горные массивы (400–600 м), тасжана зона, подзона южной тайги	9,0	Доломиты, расщепляющиеся, плотные и доломитизированные известняки, смесь обломков доломитов с элювиальными глинами	Грунтосмеси карбонатные, не засолены, реакция среды щелочная (рН 7,2–8,4). Содержания элементов питания низкое (Махонина, 2003)	Каменистость 70–85 %. Доломиты — прочные скальные породы, обладают высокой крепкостью и вязкостью	Отвал 1–2-ярусный, состоит из нескольких разновозрастных участков с разным по механическому составу субстратом
5	Гидроотвалы Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота (Новоянский ГО, Свердловская обл.)	Средний Урал, восточный склон Уральского хребта, тасжана зона, подзона южной тайги	Более 100	Полигоны: седиментированные глины, дамбы: глинистые породы вскрыши, запосоченные глины	Реакция среды слабощелочная (рН до 5,5), на внешней дамбе близка к нейтральной (рН 6,5). Содержание N и P очень низкое, K низкое. Содержание гумуса от 0,20 до 0,53 % (Филимонова и др., 1997)	Полигоны: заилованные глины, дамбы: глина — 55–60 %, песок — 30 %, каменистость — 5–10 %	По положению к естественному рельефу: нагорный (перспад высот от 0,5 до 10 м)
6	Отвал № 3 Баженовского месторождения асбеста (г. Асбест, Свердловская обл.)	Средний Урал, тасжана зона, подзона южной тайги	242,5	Вскрышные породы и отходы обогажительной фабрики после извлечения асбеста (серпентин — 44,5 %, перидотиты — 28,6 %, габбро — 12,3 %, тальк-карбонатные породы — 7 %, диориты — 4,9 %	рН 7,4. Химический состав вскрышных пород: MgO — 42,0 %, SiO ₂ — 40,9 %, F ₂ O ₃ — 3,0 %, Al ₂ O ₃ — 1,25 % (Тарчевский, Зайцева, 1964). Отсутствуют K, P, N	Породы сильно каменистые: 50–90 %. Серпентин — мягкий материал, с сильно развитой трещиноватостью и слабым волокончатостями	Отвал 3-ярусный, высотой до 40 м, силанирован, отсыпан автотранспортом

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Площадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизическая характеристика	Примечание (индивидуальные особенности)
7	Терриконники шахт «Буланаш 2/5» и «Буланаш 3» Буланашского угольного месторождения (пос. Буланаш, Свердловская обл.)	Средний Урал, таежная зона, подзона южной тайги	9,01	Состоят из пород, частей угля и шлака. Породный состав: алевролиты, аргиллиты, песчанки на глинистом и известняковом цементе и уголь в разном соотношении	pH нейтральная или слабощелочная. Незасоленные с низким содержанием подвижного Р, высоким К и средним Na. Породы на вершине терриконника шахты «Буланаш 2/5» сильно засолены (Махонина, Чибрик, 1978)	Каменистость субстратов терриконников: 10–40 % («Буланаш 2/5»), 45–70 % («Буланаш 3»)	Высота терриконков 52 м («Буланаш 2/5»), 39,5 м («Буланаш 3»). Форма коническая
8	Коркинский угольный разрез (г. Коркино, Челябинская обл.)	Южный Урал, лесостепная зона	800 — карьер, 160 — отвалы пустых пород	Аргиллиты, алевролиты, сланцы, песчанки и запесоченные глины (Чибрик и др., 2004)	pH _{KCl} от 5,7 до 7,5; pH _{NaCl} 6,1–8,0. Не засолены. Обеспеченность элементами питания низкая	Неодородный агрофизический состав, сложный гидрологический режим	Верхние бермы до 50 м, при общей глубине карьера > 500 м
9	Аккермановские отвалы (месторождения флюсовых известняков и хромоникелевых железных руд; г. Орс, Оренбургская обл.)	Зауралье, степная зона, подзона средних (сухих) степей	200	Красно-бурые глины, известняки, известняк и др., от 30 до 70 % поверхности покрыто щебнем известняка (Махонина и др., 1976)	Грунтосмеси карбонатны (от 6 до 35 %), не засолены, слабощелочные (pH _{NaCl} 7,3–7,7). Обеспеченность (мг/100 г) подвижными фосфатами (P ₂ O ₅ — 0,20–4,52) и К низкая, N — следы	По механическому составу: хрящеватые суглинки (сумма фракций < 0,01 — 50–52 %), каменистость 40–90 % (Махонина, 2003)	Рельеф грядово-бугристый. Высота отвалов колеблется от 8 до 20 м

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Площадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизическая характеристика	Примечание (индивидуальные особенности)
10	Новокиевские отвалы (мestорождения хромоникелевых железных руд)	Зауралье, степная зона, подзона средних (сухих) степей	Свыше 200	Слюдистые суглинки с примесью кварцевого песка с галькой и окристой железной руды (5 %)	Грунтосмеси местами засолены, нейтральные и слабощелочные ($pH_{\text{нр}} 6,5-8,4$). Обеспеченность (мг/100 г) подвижными фосфатами достаточная (P_2O_5 10-40), К и N — низкая	По механическому составу: легкие и средние суглинки (сумма фракций < 0,01 — 46-52 %, каменистость 30-50 % (Махонина, 2003)	То же
Отвалы перерабатывающей промышленности							
11	Шламо-хранилище Богословского алюминиевого завода (БАЗ) (г. Красно-турьинск, Свердловская обл.)	Восточные предгорья Среднего Урала, тасканная зона, подзона средней тайги	200	Красный шлам — отходы глинозёмного производства, получающийся в результате автоклавного выщелачивания бокситов	рН 9,1-9,9; в валовом химическом составе шлама 63,5 % составляют окислы металлов. Крайне мало органических веществ (мг/100 г): N — 0,03; P_2O_5 — 1,5; K_2O — 4,8 (Дробиз и др., 1970)	Порошкообразная слабоокисляемая тированная масса краснокоричневого цвета. Более холодный и влажный субстрат, чем зональные почвы (физиологическая сухость)	—

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Площадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизическая характеристика	Примечание (индивидуальные особенности)
12	Золотоавал Ботословской ТЭЦ (г. Краснотурьинск, Свердловская обл.)	То же	160	Зола	pH золы 7.0–7.7; pH золы, загрязненной стоками БАЗа — 8.7–10.99. Содержание К и Р — низкое. Сульфатный тип засоления (Чибрик и др., 2010)	Слаботеплопроводный пылевидный субстрат, скажность хорошая	Избыточное переувлажнение
13	Хвостохранилище Качканарского горно-обогатительного комбината (ГОКа)	Низкогорья Среднего Урала, тасканая зона, подзона средней тайги	1 500	Шлам, полученный при обогащении железной руды, состоит из рудных (магнетит, сродстки пироксена с магнетитом и амфиболом) и нерудных (пироксен, амфибол, плагиоклаз) минералов	pH 7.4. Низкое содержание N, P, K. Основу химического состава составляют силикаты с высоким содержанием Fe и окислов Fe. В шламе избыток Mn, Cu, Co, Zn, Ni (Левит, 1982)	Бесструктурный субстрат, обладающий сильной скажностью	—
14	Золотоавал Среднеуральской ГРЭС (г. Среднеуральск, Свердловская обл.)	Средний Урал, тасканая зона, подзона южной тайги	192	Зола бурого угля Челябинского бассейна, экибастузского угля	Реакция среды слабощелочная (pH 8.6). Обеспеченность (мг/100 г) подвижными фосфатами очень низкая (P_2O_5 — 0.34), K — низкая (K_2O — 3.9), N — следы	По механическому составу: песок. Скажность хорошая	

№ п/п	Объекты исследования	Местоположение, зона	Пло- щадь, га	Породный состав	Агрохимическая характеристика	Агрофизиче- ская харак- теристика	Примечание (индивидуальные особенности)
15	Золотоавал Верхнетагиль- ской ГРЭС (г. Верхний Тагил, Свердлов- ская обл.)	Средний Урал, восточный склон, горная котловина, таежная зона, под- зона южной тайги	125	Зола бурого угля Коркинского раз- реза и Калачев- ских шахт (Чибрик и др., 2004)	Реакция среды слабоще- лочная (рН 8,5). Обес- печенность (мг/100 г) подвижными фосфатами достаточная (P_2O_5 — 23,5), K — низкая (K_2O — 7,0), N — следы	По механиче- скому соста- ву — супесь; 60,84 % — физиче- ский песок ($> 0,01$), 19,69 % — физиче- ская глина ($< 0,01$). Скважность хорошая	По положению к естественному рельефу: нагорный
16	Золотоавал Южноураль- ской ГРЭС (г. Южно- уральск, Челябинская обл.)	Южный Урал, лесостепная зона	68	Зола бурого угля Челябинского бассейна (Чибрик и др., 2004)	Реакция среды слабоще- лочная (рН 8,0). Низкая обеспеченность (мг/100 г) подвижными фосфатами (P_2O_5 — 2,7) и K — (K_2O — 1,6), N — следы	По механиче- скому соста- ву — песок: 75,84 % — физический песок, 9,58 % — физическая глина. Скважность хорошая	—

(1957), А. Г. Вороновым (1963, 1973) с уточнением Л. Я. Курочкиной и В. В. Вухрер (1987) (табл. 49).

Таблица 49

Стадии сингенеза*

Стадии сингенеза	Проективное покрытие, %	Характеристика растительности
Экотопическая группировка	Менее 0,1	Растительный покров отсутствует
Простая группировка	0,1–5,0	Растительность представлена отдельными малыми или средними по размерам группами и отдельными особями
Элементарная сложная группировка	6,0–50,0	Растительность представлена малыми, средними и большими группами, реже отдельными особями, концентрация доминантов высокая
Фитоценоз	Более 50,0	Растительность представлена средними и большими группами и более или менее сомкнута

* Приводится по: Курочкина, Вухрер, 1987.

Большое внимание уделялось биоэкологической характеристике видов, слагающих растительность отвалов и карьеров. Био- и экоморфологическая характеристика видов дана по литературным данным (Быков, 1960–1965, 1988; Горчаковский, Шурова, 1982; Горышина, 1979; Куминова, 1960; Левина, 1957; Мартыненко, 1989; Никитин, 1985; Раменский и др., 1956; Серебряков, 1962, 1964; Туганаев, Пузырев, 1988; Флора СССР, 1934–1960; Цыганов, 1983; Шенников, 1964; Ellenberg et al., 1991; и др.) и с учетом личных наблюдений.

Названия видов растений приводятся по сводке С. К. Черепанова (1995).

Для изучения эндомикоризы в растительных сообществах отбирались корни травянистых растений в пяти- и десятикратной повторности. Отобранные образцы обрабатывались в лаборатории Уральского государственного университета по общепринятой методике (Селиванов, 1981). Были изучены такие параметры, как доля участия микотрофных видов в растительных сообществах, частота встречаемости микоризной инфекции (F), степень микотрофности (D), интенсивность микоризной инфекции (C), средняя интенсивность микоризной инфекции (Q) и микосимбиотрофический коэффициент фитоценоза (M).

Показатели вычислялись по следующим формулам:

– частота встречаемости микоризной инфекции (F , характеризует соотношение между огрибленными и неогрибленными участками корня):

$$F = \frac{n \cdot 100\%}{N},$$

где N – общее число просмотренных полей зрения; n – число полей зрения, где обнаружен микоризообразующий гриб;

– степень микотрофности в баллах (D , отражает обилие гриба в корнях растений):

$$D = \frac{S}{N},$$

где N – общее число просмотренных полей зрения; S – сумма баллов, проставленных исследователем при изучении каждого отдельного поля зрения;

– интенсивность микоризной инфекции (C , отражает как распределение огрибленных участков корня, так и обилие гриба в нем):

$$C = \frac{\sum (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5 \cdot 100\%)}{N \cdot K},$$

где \sum – сумма произведений; n_1 – количество срезов с баллом 1; n_2 – количество срезов с баллом 2 и т. д.; N – общее число просмотренных полей зрения (с грибом и без гриба); K – наивысший балл шкалы учета.

– средняя интенсивность микоризной инфекции, или коэффициент интенсивности микоризной инфекции (Q) – отношение суммы значений интенсивности микоризной инфекции у микотрофных видов в растительном сообществе к числу этих видов;

– микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M), или относительная интенсивность микоризной инфекции в растительном сообществе:

$$M = \frac{\sum (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) \%}{N},$$

где \sum – сумма значений, выражающих интенсивность микоризной инфекции у отдельных видов фитоценоза, имеющих микоризу; N – общее число исследованных видов в фитоценозе (микотрофных и немикотрофных).

В зависимости от степени микотрофности, согласно классификации И. А. Селиванова и В. Ф. Шавкуновой (1973), растения подразделялись на три группы: высокомикотрофные, степень микотрофности D которых равняется 3,6–5,0 балла; среднемикотрофные – 1,8–3,5 балла; слабомикотрофные – 0,1–1,7 балла.

Микосимбиотический ряд дифференциации (W) дает представление о соотношении между немикотрофными, слабо-, средне- и высокомикотрофными видами (в процентах к общему числу видов растительного сообщества).

2.2. Восстановление видового разнообразия фитоценозов на промышленных отвалах Урала

Большая часть населения Земли уже в настоящее время живет в окружении «техногенных ландшафтов» (термин Б. П. Колесникова: Колесников, Пикалова, 1974). Они же энергично используются для нужд рекреации и массового кратковременного туризма (так называемые пригородные зоны). Свойственные им измененные биотические системы и сложные инженерно-технические структуры создают постоянную среду жизни людей. Но большинство техногенных ландшафтов в том состоянии, в каком они находятся сейчас, явно неблагоприятны и даже опасны для здоровья человека. Характерной их чертой является нарушение целостности и сплошности «пленки жизни» в биосфере (Вернадский, 1965) вплоть до полного уничтожения почвенного и растительного покровов в результате деятельности человека, сравнимой по значимости с геологическими процессами. Среди техногенных ландшафтов особое место по своему отрицательному воздействию на естественные природные комплексы (и на здоровье человека в том числе) занимают так называемые промышленные отвалы. На Урале они концентрируются в окрестностях большинства населенных пунктов и всех крупных городов на площади свыше 100 тыс. га, поэтому требуется их биологическая рекультивация, т. е. искусственное создание экологически безопасных, хозяйственно и социально ценных биогеоценозов. Весьма важным является изучение формирующихся в процессе самозарастания фитоценозов на этих территориях.

В 1992 г. была принята Конвенция ООН по окружающей среде и развитию (1992), которая широко известна как Конвенция о биологическом разнообразии. В ней под «биологическим разнообразием» понимается «вариабельность живых организмов из всех источников... это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем» (Конвенция..., 1992; Национальная стратегия..., 2001).

В наших исследованиях изучается формирование фитоценозов на разных типах нарушенных промышленностью земель, лишенных почвенного и растительного покровов, т. е. на безжизненных пространствах, в полном смысле этого слова часто называемых «индустриальными пустынями», где процесс освоения территории растениями начинается с нулевого старт-момента, так как субстрат этих территорий лишен также запаса (банка) семян (жизнеспособных диаспор). Изучаются как фитоценозы, возникшие в процессе самозарастания, так и воссозданные при биологической рекультивации.

Таким образом, в нашем случае объектами исследования являются формирующиеся растительные сообщества с подробным изучением разнообразия (своеобразия) составляющих их видов и начальные этапы формирования техногенных экосистем с учетом разнообразия видов, сообществ и абиотической среды. На наш взгляд, этому аспекту исследований по биоразнообразию в настоящее время уделяется еще недостаточно внимания, хотя теоретическую и практическую значимость подобных работ в плане сохранения и восстановления биоразнообразия России и сопредельных территорий трудно переоценить.

Цель этого раздела монографии — показать результаты многолетних исследований по восстановлению фиторазнообразия на промышленных отвалах Урала в процессе первичной сукцессии (Шенников, 1964) на самых ранних этапах формирования фитоценозов на безжизненных территориях.

На Урале нарушенные промышленностью земли расположены в трех зонах: таежной, или лесной (Л), лесостепной (ЛС) и степной (С). В качестве объектов исследования в каждой зоне изучено фиторазнообразие растительных сообществ, сформировавшихся в процессе самозарастания, на 10 техногенных объектах, перечень и характеристика субстрата которых приведены ранее (Чибрик, Елькин, 1991).

Породный состав отвалов разнообразен, на нарушенных землях угольных месторождений часто выносятся на дневную поверхность геологически древние породы, а субстраты отвалов перерабатывающей промышленности, в частности золоотвалы тепловых электростанций, вообще не имеют природных аналогов. На всех отвалах наблюдается сильная пестротность субстрата, разновозрастность участков, что определяет разные стадии формирующихся растительных сообществ. В то же время объединяющими признаками выбранных объектов являются свойства субстратов, которые согласно ГОСТу 17.5.1.03-86 (1986) могут быть отнесены к группе малопригодных для биологической рекультивации, т. е. на них возможен процесс самозарастания, но субстрат беден элементами питания для растений и неблагоприятен по водно-физическим свойствам. Возраст участков от молодых (5–15 лет) до средневозрастных (30–40 лет), т. е. присутствуют сериальные фитоценозы до 30–40 лет.

Своеобразие флор техногенных объектов предопределено их происхождением: отсутствует почвенный покров, отличаются экологические, в первую очередь эдафические, условия.

Флоры отдельных техногенных объектов зоны ближе всего подходят под определение «парциальной флоры» (Б. А. Юрцева [1975, 1980, 1982]), под которой автор понимает «полную совокупность видов расте-

ний любого экологически и флористически своеобразного подразделения ландшафта» территории конкретной флоры. Для большей конкретизации их можно определить как техногенно-парциальные флоры, что подчеркивает причины возникновения экотопа, выделяя его из других, и местонахождение в техногенных ландшафтах.

Флора техногенных ландшафтов Урала представлена 444 видами: 260 в таежной, 264 в лесостепной и 214 на техногенных объектах степной зоны. Общими для всех зон оказались 92 вида. В целом во флоре техногенных ландшафтов преобладают мезофиты (48,9 %), гемикриптофиты (48 %), значительную долю составляют сорно-рудеральные виды (27,3 %). По способу распространения плодов и семян распределение видов по группам довольно равномерное при небольшом суммарном преимуществе автохоров и барохоров (рис. 8).

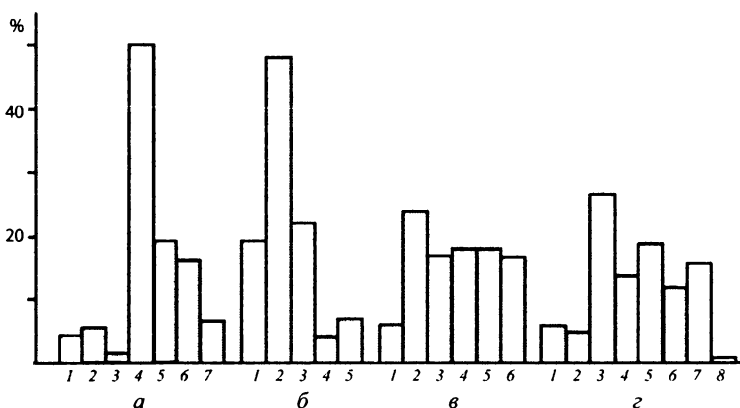


Рис. 8. Биоэкологическая структура флоры техногенных ландшафтов Урала:

а — экоморфа: 1 — гигрофиты; 2 — мезогигрофиты; 3 — гигромезофиты; 4 — мезофиты; 5 — ксеромезофиты; 6 — мезоксерофиты; 7 — ксерофиты; б — жизненная форма по Раункиеру: 1 — терофиты; 2 — гемикриптофиты; 3 — геофиты; 4 — хамефиты; 5 — фанерофиты; в — способ распространения семян: 1 — прочие; 2 — барохор, автохор; 3 — баллист; 4 — зоохор; 5 — гемнансехор; 6 — ансехор; г — ландшафтно-зональная принадлежность: 1 — влажные луга, болота и др.; 2 — солончаковые луга; 3 — сорно-рудеральные; 4 — лесные; 5 — луговые; 6 — лугово-степные; 7 — степные; 8 — культивированные

Проведено сравнение биоэкологической структуры флор по экоморфам, жизненным формам по Раункиеру, способу распространения плодов и семян и ландшафтно-зональной принадлежности видов по зонам. По экологическому спектру (рис. 9) явно прослеживается ксерофитизация флоры от лесной к степной зоне, флора лесостепной зоны занимает промежуточное положение. В биологическом спектре в этом направлении на-

блюдается закономерное увеличение доли гемикриптофитов и хамефитов при снижении доли участия фанерофитов и геофитов. Анализ структуры флор по способу распространения плодов и семян выявляет закономерную тенденцию увеличения по направлению от лесной зоны к степной доли баллистов и снижение доли зоохоров. При оценке ландшафтной принадлежности видов во флорах четко проявляются элементы зональности с преобладанием группы сорно-рудеральных (29–38,2 %). От лесной к степной зоне наблюдается уменьшение доли лесных и луговых и, соответственно, возрастание процента лугово-степных и степных видов. Еще раз следует подчеркнуть, что по всем рассмотренным показателям флора лесостепной зоны занимает промежуточное положение. В процентном отношении в флористическом составе сообществ техногенных ландшафтов преобладают многолетники, обратное явление может наблюдаться лишь на самых ранних стадиях их формирования. В последнем случае однолетники часто доминируют (преобладают численно, по процентивному покрытию и массе).

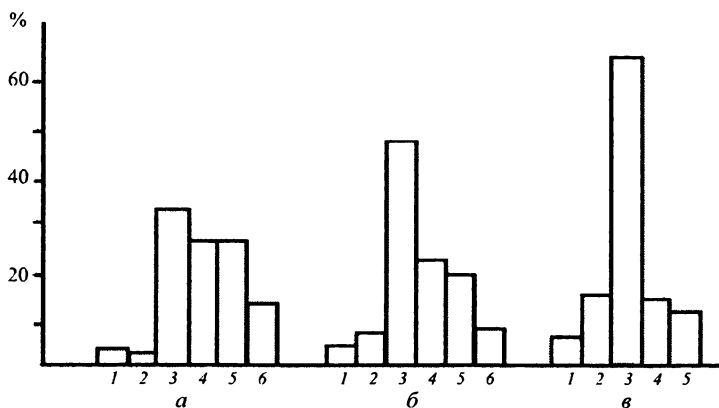


Рис. 9. Соотношение экологических групп во флоре техногенных ландшафтов Урала по зонам:

а — степная; б — лесостепная; в — лесная; 1 — гигрофиты; 2 — мезогигрофиты, гигромезофиты; 3 — мезофиты; 4 — ксеромезофиты; 5 — мезоксерофиты; 6 — ксерофиты

По широтным группам четко прослеживается от степной к лесной зоне возрастание доли бореальных видов (с 28,04 до 58,46 %) и снижение степных (с 23,28 до 3,07 %). Изменения доли полизональных и лесостепных видов выражены менее четко: соответственно 27,57, 31,06 и 23,46 для полизональных и 16,36, 16,29 и 9,62 для лесостепных видов

по тренду степная, лесостепная и лесная зоны. По долготным группам существенно преобладает группа евразийских видов, несколько снижаясь по зонам от степной к лесной (52,80, 48,49 и 47,69). Доля групп космополитных и европейских видов немного выше во флоре лесостепной зоны по сравнению со степной и лесной зонами.

Из 444 видов флоры техногенных ландшафтов Урала 92 — общие для всех трех зон, из них 68,5 % составляют многолетники. По ландшафтно-зональной принадлежности 86,5 % видов составляют три группы: сорно-рудеральные (50,6 %), луговые (20,7 %), лугово-степные (15,2 %). В экологическом спектре преобладают мезофиты (44,6 %), которые вместе с ксеромезофитами (32,6 %) и мезоксерофитами (17,4 %) составляют 94,6 % видов. Как и следовало ожидать, общими являются широко распространенные эвритопные виды. В то же время техногенные ландшафты отличаются экологическим своеобразием. Если эдафические условия не доходят до уровня экстремальных для формирования растительности, то за счет повышенных положений рельефа, более легкого механического состава грунтосмесей отвалов в лесной зоне экологические условия техногенных объектов часто более ксероморфны. В лесостепной и степной зонах наблюдается некоторая (относительно зональных сообществ) мезофитизация и даже гигромезофитизация флор техногенных объектов за счет флористического состава сообществ, формирующихся близ выхода грунтовых вод в карьерах или в замкнутых блюдцеобразных понижениях на отвалах.

Проведено сравнение зональных флор по видовому составу и разнообразию семейств по индексам сходства Чекановского — Сьеренсена, а коэффициенты корреляции вычислены с учетом обилия и балла постоянства видов (табл. 50). Примерно одинаков и высок (0,76–0,85) уровень коэффициентов сходства по видовому и родовому разнообразию семейств. Несколько ниже коэффициенты видового сходства зональных флор: степной и лесной с лесостепной на уровне 0,56–0,58, а лесной и степной — 0,41. Введение количественных оценок видов ослабляет связь по сравнению с анализом по отсутствию (присутствию) видов. Анализ корреляционной матрицы с учетом постоянства и обилия видов показывает относительную стабильность видового состава флор техногенных ландшафтов по зонам, но постоянство и обилие большинства общих для всех зон видов зависит от зонального положения флоры.

В результате длительного локального мониторинга прослежена динамика видового состава формирующихся на промышленных отвалах фитоценозов по отдельным объектам с учетом времени их формирования, стадий сукцессионного процесса, экологических, в первую очередь

эдафических, условий. Влияние на этот процесс эдафических условий хорошо иллюстрируют результаты 35-летних наблюдений за формированием фитоценозов на золоотвале ВТГРЭС (рис. 10, 11) и на гидроотвалах Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота (рис. 12).

Таблица 50

Коэффициенты Чекановского — Сьеренсена видового сходства (I), разнообразия семейств по видам (II), родам (III) и корреляционная матрица зональных флор техногенных ландшафтов (IV)

I				II			
	Л	ЛС	С		Л	ЛС	С
Л		0,58	0,41	Л		0,82	0,77
ЛС	152		0,56	ЛС	215		0,83
С	98	134		С	182	199	
<i>Всего видов</i>	260	264	214	<i>Всего видов</i>	260	264	214
III				IV			
	Л	ЛС	С		Л	ЛС	С
Л		0,81	0,76	Л		0,21	-0,01
ЛС	127		0,85	ЛС	0,46		0,29
С	111	118		С	0,21	0,59	
<i>Всего видов</i>	164	150	129	<i>Всего видов</i>	260	264	214

Примечание: I–III — в верхней части матриц коэффициент сходства, в нижней — число общих видов (I), количественное сходство видов в семействах (II), родов в семействах (III); IV — в верхней части матрицы коэффициенты корреляции с учетом обилия, в нижней — постоянства видов; Л, ЛС, С — флоры соответственно лесной, лесостепной и степной зон.

Золоотвал ВТГРЭС. Исследования проводились в течение 25 лет, начиная с 10-летнего и заканчивая 35-летним возрастом растительных сообществ с интервалом в 5–10 лет (Лукина, 2002; Экологические основы и методы..., 2002).

На части золоотвала на рекультивированных участках с полосным нанесением грунта идет формирование лесных фитоценозов. К 10-летнему возрасту в этих сообществах насчитывалось 13 древесных видов. В центре золоотвала на более увлажненных участках преобладал подрост *Salix caprea*, *S. phylicifolia* L., *S. triandra*, *S. viminalis* L., ближе к дамбе на более сухих участках — подрост *Betula pendula* и *B. pubescens* Ehrh., *Populus tremula*, *Alnus incana*, *Pinus sylvestris*. Высота деревьев достигала 2–3 м. Из кустарников отмечено появление *Rosa acicularis* Lindl., *Rubus idaeus* L., *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wołoszcz.) Klášková. В 20-летних сообществах видовой состав древесных увеличился только

на три вида (за счет таких видов, как *Picea obovata* Ledeb., *Populus alba* L., *Salix myrsinifolia* Salisb.), эдификаторная роль древесных значительно возрастает. Высота деревьев достигает 2,5–4 м. Количество древесных видов на 100 м² составляет в среднем 26 взрослых особей и 13 особей подроста. К 35-летнему возрасту на значительной части золоотвала в результате самозарастания золы и грунта формируются лесные фитоценозы с признаками зонального типа. Видовой состав деревьев и кустарников увеличивается до 25 видов. В вертикальной структуре различаются ярусы: верхний древесный ярус представлен *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* и *B. pubescens* высотой от 18 м; 2-й ярус — подростом этих видов и *Populus tremula* (от 10 до 18 м); ярус подлеска и высоких кустарников с высотами 1,3–10 м представлен *Salix* sp. древесных и кустарниковых форм; ярус низких кустарников, высотой до 1,3 м, состоит в основном из *Salix* sp. и *Chamaecytisus ruthenicus*, встречаются единичные особи *Juniperus communis* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., подроста *Pinus sibirica* Du Tour, *Picea obovata*, *Sorbus aucuparia* L. и *Alnus incana*. Формируется разреженный кустарничковый ярус. На полосах золы количество древесных видов составляет 37–59 особей на 100 м², на полосах с покрытием грунтом — от 9 до 31 особи на 100 м², при этом морфометрические характеристики древесных (величина крон и сомкнутость, диаметр стволов) на полосах грунта выше, чем на золе.

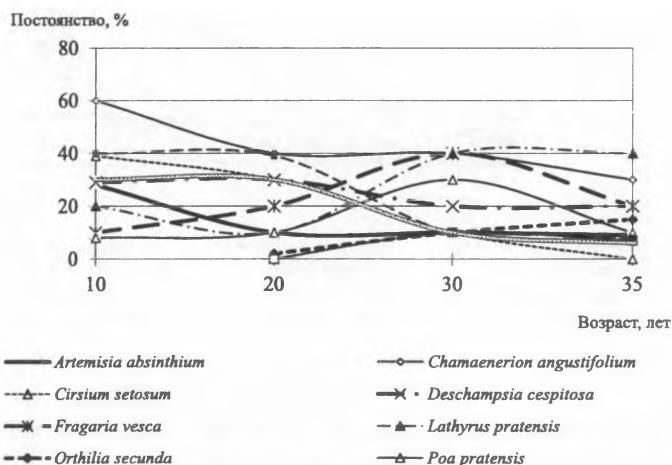


Рис. 10. Хроноклин изменения постоянства некоторых травянистых видов лесного фитоценоза (золоотвал ВТГРЭС)

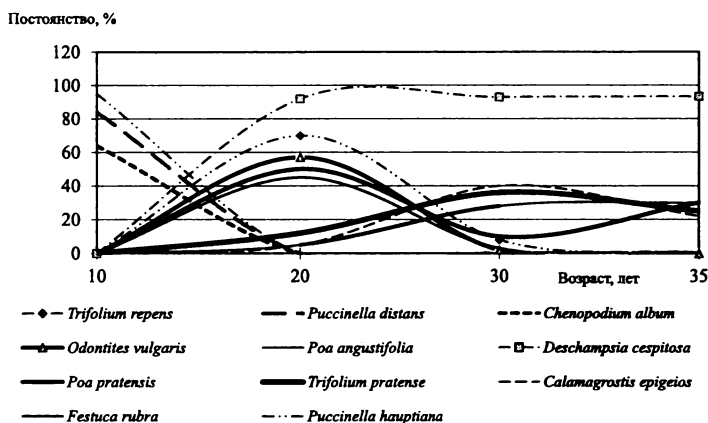


Рис. 11. Хроноклин изменения постоянства некоторых видов зооотвала ВТГРЭС (щучковый луг)

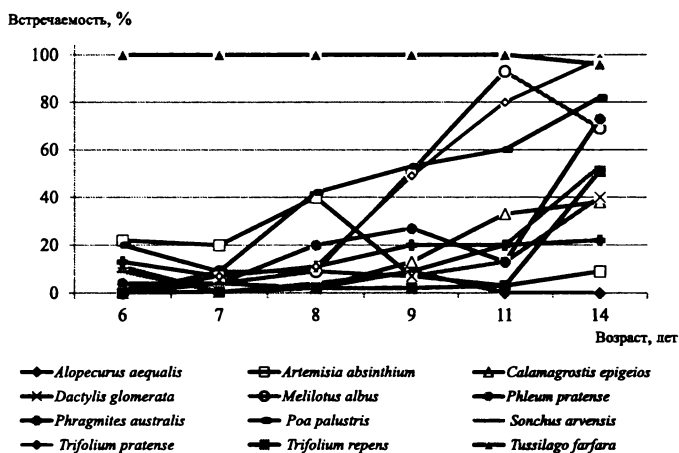


Рис. 12. Хроноклин изменения встречаемости преобладающих видов сообщества на полигоне гидроотвала

Травянистый ярус в 35-летних лесных фитоценозах мозаичен, общее проективное покрытие варьирует от 30 до 80 %. Полосы грунта размыты, на грунте преобладают *Poa palustris*, *Elymus caninus* (L.) L., на золе — *Fragaria vesca*, *Rubus saxatilis* L., *Trifolium pratense*. Хроноклин, построенный по данным постоянства преобладающих на этом участке травяни-

стых видов, показывает, что за исследуемый период произошло снижение постоянства сорно-рудеральных видов, таких как *Taraxacum officinale* (от 40 до 8 %), *Tussilago farfara* (от 29 до 7 %), *Cirsium setosum* (от 40 до 0 %); незначительно снизилось постоянство *Chamaenerion angustifolium* (от 60 до 30 %) и *Deschampsia cespitosa* (от 30 до 20 %). Увеличилось постоянство лесных и лугово-лесных видов, характерных для бореальной зоны, таких как *Fragaria vesca* (от 8 до 20 %), *Lathyrus pratensis* (от 20 до 40 %), *Orthilia secunda* (L.) House (от 0 до 15 %), *Pyrola rotundifolia* L. (от 0 до 10 %) (см. рис. 10). Исследование продуктивности 10-летних растительных сообществ показало, что на «чистой» золе вес воздушно-сухой надземной фитомассы составил 44,6 г/м², на участке с полосным нанесением грунта в лесном фитоценозе вес фитомассы в 4 раза больше, он составил 180,7 г/м².

На «чистой» золе, занимающей значительные площади в центральной части, с увеличением возраста золоотвала происходит смена растительных сообществ. Хроноклин, построенный на основании данных встречаемости (постоянства) видов, показал, что по мере высыхания зольного субстрата на данной территории к 10-летнему возрасту (при достаточном увлажнении) формируются первичные бескильничевые растительные группировки (см. рис. 11).

Доминирующими видами в них по постоянству являются *Puccinellia hauptiana* (встречаемость 96 %) и *P. distans* (84 %), содоминантом выступает *Chenopodium album* (64 %). В течение последующих 10 лет на данной территории наблюдается смена доминирующих видов. Из состава формирующихся сообществ полностью выпадают *Puccinellia hauptiana*, *P. distans*, сохраняются лишь единичные особи *Chenopodium album* (2 %), высокого постоянства достигают такие виды, как *Deschampsia cespitosa* (92 %), *Amoria repens* (70 %), *Odontites vulgaris* (67 %), *Poa pratensis* (50 %), *Festuca rubra* (45 %).

Данные процессы связаны, на наш взгляд, в первую очередь с изменением эдафических условий: высыханием зольного субстрата и накоплением органического вещества. Дальнейший 10-летний этап формирования фитоценоза на «чистой» золе связан с усилением ценотической роли *Deschampsia cespitosa*. К 35-летнему возрасту на «чистой» золе формируется щучковый луг (доминант сообщества — *Deschampsia cespitosa*, содоминанты — *Trifolium pratense*, *Poa palustris*, *Calamagrostis epigeios*).

Гидроотвалы Шуралино-Ягодного месторождения золота. По показателю изменения постоянства видов с увеличением сроков формирования фитоценозов выделяется три группы видов. Такие виды, как *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*, *Melilotus albus*, проявляют себя как

явные эксплеренты, которые быстро семенным путем заселяют открытые свободные от растений пространства. *Tussilago farfara* на высоком уровне постоянства удерживается до 10–12 лет. *Calamagrostis epigeios* и *Chamaenerion angustifolium* постепенно усиливают свою ценотическую роль. *Trifolium pratense* и *Amoria repens* постоянно присутствуют в формирующихся фитоценозах, но в разные годы встречаемость их может изменяться (см. рис. 12). Вероятно, их можно отнести к флуктуирующим эксплорентам (Кушкин, 2002).

Подобный фактический материал получен на многих техногенных объектах. Обобщая его, можно дать классификацию видов по их позиции в сериальных фитоценозах отвалов техногенных объектов, которая впервые была разработана для отвалов Аккермановского и Новокиевского железорудных месторождений (Чибрик, Елькин, 1991):

а) виды, характерные для группы «молодых» сообществ, иллюстрируют свойства эксплерентности (I группа);

б) виды индифферентные, присутствующие независимо от возраста сообществ, иллюстрируют свойства патиентности (II группа);

в) виды, характерные для группы «старых» сообществ, иллюстрируют свойства виолентности (III группа).

Для каждой из групп выделяются следующие подгруппы:

1) виды, усиливающие позицию с возрастом сообществ (увеличивают класс постоянства, обилие, массу и др.);

2) виды с позицией, не зависящей от возраста сообществ;

3) виды, ослабляющие позицию с возрастом сообществ (зависимость выражается нисходящей или одновершинной кривой).

Виды, характерные для «молодых» и «старых» сообществ (группы I и III), в какой-то степени индицируют стадии сингенетических сукцессий на этих отвалах, степень сформированности сообществ, а виды II группы — экологические условия. Разные виды I и III групп на отвалах отражают вариабельность формирующихся сообществ, обусловленную заносом диаспор, некоторым различием конкретных экологических условий отвалов и др. Но эти группы иллюстрируют разные стороны единого процесса формирования фитоценозов на безжизненном субстрате: I группа определяет инициальные фитоценозы, отражая их вариабельность; III — позволяет прогнозировать возможное развитие фитоценозов с возрастом.

Общемировой проблемой в настоящее время является сохранение биоразнообразия земли. Выявление видового состава формирующихся разновозрастных фитоценозов на нарушенных промышленностью зем-

лях характеризует процесс восстановления фиторазнообразия в различных экотопах с учетом их характеристик.

Коркинский отвал. Анализ динамики фиторазнообразия, биоэкологической структуры и видового состава разновозрастных фитоценозов Коркинского отвала (угольный разрез) (табл. 51) показал, что видовое богатство на всех участках за 4 года существенно возросло (с I по III участки, соответственно, на 25, 28 и 35 видов), в основном за счет многолетних мезофитных видов. Увеличилось число видов более ксерофитных групп (суммарно ксеромезофитов и мезоксерофитов). Во всех изученных фитоценозах в убывающей последовательности представлены сорно-рудеральная, луговая и лугово-сорная группы. На первом, более молодом, восьмилетнем участке за четыре года увеличились число и доля видов сорно-рудеральной группы. В более старых фитоценозах увеличилось число видов этой ценотической группы, но снизилась их доля от общего числа видов. На старых 18–24-летних участках существенно усилили свою ценотическую активность лугово-степные виды. Преобладающей жизненной формой по Раункиеру являются гемикриптофиты, на всех участках за четыре года увеличилось их число и возросла доля. Число геофитов и терофитов во всех фитоценозах за четыре года возросло, но доля их снизилась.

Ареалогический анализ показал, что преобладающей широтной группой является бореальная, но доля видов этой группы с возрастом сообществ интенсивно снижается за счет увеличения полизональных и лесостепных видов. Преобладающей долготной группой является евразийская, но существенна и циркумполярная ареалогическая группа.

В таежной зоне изученные техногенные объекты расположены в подзонах средней и южной тайги (табл. 52). По форме, породному составу и свойствам субстрата исследуемые объекты различны, территориально разобщены. Сюда входят отвалы пустых пород железнодорожного (Веселовско-Богословское угольное и Евстунинское железорудное месторождения) и автомобильного типа складирования (Басьяновское песчаное, Билимбаевское известняковое, Черемшанское никелевое месторождения). На Баженовском и Первоуральском месторождениях имеются отвалы как железнодорожного, так и автомобильного типа складирования. Это отвалы добывающей промышленности. Своеобразием экологических условий отличаются конические терриконы высотой от 30 до 55 м (Махонина, Чибрик, 1978). Из отвалов перерабатывающей промышленности анализируется флора золоотвала ВТГРЭС.

Таблица 51

**Динамика фиторазнообразия и биоэкологической
структуры видового состава разновозрастных фитоценозов
Коркинского отвала (лесостепная зона)**

Группа видов	Участок I				Участок II				Участок III			
	8 лет		12 лет		14 лет		18 лет		20 лет		24 года	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Экоморфы</i>												
Ксерофиты	—	—	2	4,5	—	—	4	7,8	—	—	4	6,9
Мезоксерофиты	1	5,3	6	13,6	1	4,3	7	13,7	5	21,7	10	17,2
Ксеромезофиты	4	21,0	6	13,6	5	21,7	9	17,7	5	21,7	12	20,7
Галоксеромезофиты	—	—	1	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Галомезофиты	1	5,3	2	4,5	1	4,3	3	5,9	—	—	4	6,9
Мезофиты	12	63,1	24	54,7	14	61,0	24	47,1	12	52,2	23	39,7
Гигромезофиты	1	5,3	2	4,5	2	8,7	4	7,8	1	4,3	4	6,9
Мезогигрофиты	—	—	1	2,3	—	—	—	—	—	—	1	1,7
<i>Широтная группа</i>												
Полизональные	5	26,3	17	38,6	6	26,1	14	27,4	7	30,5	19	32,7
Борсальные	12	63,1	20	45,5	15	65,3	24	47,1	12	52,2	23	39,6
Лесостепные	1	5,3	3	6,8	1	4,3	8	15,7	3	13,0	11	19,1
Степные	1	5,3	4	9,1	1	4,3	4	7,8	1	4,3	4	6,9
Пустынные	—	—	—	—	—	—	1	2,0	—	—	1	1,7
<i>Долготная группа</i>												
Циркумполярные	5	26,3	9	20,45	7	30,5	8	15,7	3	13,0	11	19,1
Евразийские	10	52,6	22	50,0	13	56,5	29	56,8	16	69,7	32	55,1
Азиатские	1	5,3	2	4,5	1	4,3	—	—	—	—	—	—
Плурирегинальные	2	10,5	6	13,6	1	4,3	5	9,8	2	8,7	5	8,6
Европейские	—	—	4	9,1	—	—	8	15,7	1	4,3	8	13,8
Евросибирские	1	5,3	1	2,3	1	4,3	1	2,0	1	4,3	2	3,4
Общее число видов	19		44		23		51		23		58	

Примечание: 1 — число видов; 2 — % от общего числа видов.

Флористический состав сообществ таежной зоны анализируется по флоре 10 объектов (см. табл. 52). В процессе самозарастания в этой зоне формируются, как правило, лесные сообщества с доминированием сосны, берез, ив. Видовое богатство флор отдельных объектов колеблется от 57 до 149 видов и определяется разнообразием экотопов: минимальное — на

Евстюнинском отвале, максимальное — на золоотвале ВТГРЭС, где формируются преимущественно травянистые сообщества. На пяти разных объектах с формированием типичных лесных сообществ колебания видового состава минимальные — от 75 до 88 видов.

Таблица 52

Общая характеристика техногенных объектов таежной зоны

Месторождения	Объекты	Породный состав	Шифр
Североуральские бокситовые	Карьерно-отвальные комплексы	Рыхлые породы — глинистые сланцы и глинистые известняки, скальные — известняки различной крепости, серпентиниты, углистые сланцы	Л-1
Веселовско-Богословское бурогольное	Южный Веселовский железнодорожный отвал	Аргиллиты, алевролиты, песчаники с примесью желтых ожелезненных песков, сланцы	Л-2
Басьяновское формовочных песков	Отвалы Басьяновского песчаного карьера	Глинисто-песчаная смесь	Л-3
	Золоотвал Верхне-тагильской ГРЭС	Зола от сжигания бурых углей Челябинского бассейна и Богословского месторождения	Л-4
Евстюнинское железорудное	Железнодорожный отвал Евстюнинского карьера	Породы габбро, сланцы, гнейсы и продукты их выветривания в смеси с аллювиальными отложениями и четвертичными суглинками	Л-5
Булашацкое угольное	Терриконики шахт	Аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники на глинистом и известняковом цементе	Л-6
Бажновское хризотил-асбеста	Отвалы пустых пород и отходов обогащенных фабрик	Серпентиниты и продукты их выветривания	Л-7
Первоуральское титано-магнетитовых железных руд	Отвалы пустых пород и отходов обогащения	Габбро, горнблендиты и продукты их выветривания с различной примесью бурых и пестроцветных глин	Л-8
Билимбасовское флюсовых известняков и доломитов	Отвалы пустых пород и отходов обогащения	Темно-бурые суглинки, песчано-глинистые элювиальные и карстовые отложения, известняк и доломиты различной степени выветренности	Л-9
Черемшанское никелевое	Отвалы пустых пород	Серпентиниты и продукты их выветривания	Л-10

Флоры объектов таежной зоны — мезофитного типа (рис. 13). Мезофиты составляют от 59,7 % на террикониках Буланашского угольного месторождения до 84 % на отвалах Первоуральского железорудного месторождения и являются доминантами во всех растительных сообществах. В целом доля мезофитов и ксеромезофитов составляет от 76 до 91 % от общего числа видов. Анализ флоры по жизненным формам Раункиера показывает преобладание гемикриптофитов и значительное участие геофитов при доминировании фанерофитов. Исключение составляют терриконики, где формируются только травянистые сообщества.

По способу распространения плодов и семян перераспределение структуры флор идет по трем группам: автохоры и барохоры, зоохоры, гемиянемохоры и анемохоры. Зоохоры в флористическом составе сообществ, формирующихся по лесному типу, составляют до 27,9 % (отвалы и карьеры Североуральского бокситового месторождения). На объектах, где формируются только травянистые, как на террикониках, или преимущественно травянистые, как на золоотвале ВТГРЭС, количество зоохоров снижается соответственно до 14,5 и 17,5 %. Во всех флорах значительна доля анемохорных и гемиянемохорных видов, причем по мере сформированности (сомкнутости) древесного яруса их относительное число снижается. При этом надо учитывать, что доминанты и большинство видов древесного яруса — анемохоры. Лесные сообщества с древесным ярусом, имеющие сомкнутость на уровне 0,4–0,8, характерны для отвалов Басьяновского песчаного карьера (Л-3), Евстюнинского железорудного (Л-5) и асбестовых месторождений (Л-7), где доля видов с анемохорным типом распространения семян составляет 29,4–32 %. В сообществах с меньшей сомкнутостью (не выше 0,5) количество таких видов возрастает и достигает 49,4 % во флоре террикоников с травянистым типом зарастания из-за неблагоприятных экологических условий (коническая форма, сильно каменистый субстрат, кислая реакция среды, низкое содержание элементов питания для растений и др.).

В структуре флоры по ландшафтно-зональной принадлежности выделяются три преобладающие группы видов: сорно-рудеральные, лесные и луговые (см. рис. 13). Количество сорных видов определяется степенью сформированности растительных сообществ, снижаясь в средневозрастных сообществах. Значительное влияние при этом оказывают растительность окружающих территорий и свойства субстрата. На Североуральских (Л-1), Южном Веселовском (Л-2), Басьяновском (Л-3), Евстюнинском (Л-5) отвалах, окруженных лесом, доля сорных видов даже в сообществах на самых молодых участках отвалов относительно низкая. Доминирование лесных видов на всех изученных объектах, кроме золоотвала

ВТГРЭС и терриконики, свидетельствует о степени сформированности кустарниково-травянистого яруса. Относительно высокий процент луговых видов обусловлен неполной сомкнутостью древесного яруса и значительной площадью опушечных луговин на отвалах, а также высокой долей участия этих видов в растительных сообществах на ранних стадиях их формирования.



Рис. 13. Биозоологическая структура флор техногенных объектов таежной зоны:
а — экоморфа; б — ландшафтно-зональная принадлежность

Влияние свойств субстрата на структуру флористического состава сообществ иллюстрирует следующий пример. Изучение процессов самозарастания поверхности отвалов, бортов и дна карьеров на Североуральских месторождениях бокситов показало, что интенсивность его зависит от породного состава: отвалы, сложенные скальными породами без существенной примеси рыхлых, практически не зарастают; скальные породы и рыхлые легкого механического состава зарастают преимущественно древесными растениями с преобладанием ценных хвойных пород, таких как лиственница и сосна; отвалы, сложенные скальными породами с незначительной примесью рыхлых, зарастают в основном лиственными породами; отвалы, чаще всего навалы верхних слоев вскрыши, сложенные рыхлыми породами тяжелого механического состава (глины средние и тяжелые), зарастают травянистой растительностью. Как правило, первоначально это заросли *Tussilago farfara* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. Древесная растительность на них практически не поселяется. Вероятно, это связано с очень быстрым освоением их поверхности травянистой растительностью (задернением), препятствующей поселению деревьев и кустарников.

Таблица 53

**Коэффициенты сходства и число общих видов флор
техногенных объектов лесной зоны**

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
Л-1		0,61	0,51	0,48	0,47	0,41	0,44	0,60	0,63	0,55
Л-2	53		0,55	0,47	0,42	0,39	0,47	0,58	0,67	0,49
Л-3	42	46		0,37	0,45	0,26	0,33	0,53	0,46	0,42
Л-4	56	56	42		0,34	0,43	0,53	0,52	0,54	0,53
Л-5	34	29	29	34		0,28	0,39	0,53	0,51	0,46
Л-6	30	29	18	45	16		0,51	0,44	0,44	0,45
Л-7	36	39	26	60	25	36		0,49	0,54	0,48
Л-8	47	46	39	57	32	29	36		0,66	0,55
Л-9	51	48	35	60	32	30	41	48		0,53
Л-10	51	46	37	66	34	36	42	46	46	
Общее число видов	86	88	78	149	51	62	78	70	75	98

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициент сходства Чекановского – Сьерсен-сена, в нижней — число общих видов.

Для сравнения видового состава отдельных объектов использовался индекс общности Чекановского – Сьерсенсена (табл. 53), выражавшийся в отношении числа общих видов к среднему арифметическому в двух списках. Высокую степень видовой общности на уровне 0,6 и выше показы-

вают флоры близко расположенных и сходных по свойствам субстрата объектов (Л-1 и Л-2; Л-8 и Л-9), а также флоры отвалов с определившимся, в данном случае лесным, типом зарастания (Л-1 и Л-8; Л-1 и Л-9; Л-2 и Л-9), хотя объекты Л-1, Л-2 и Л-8, Л-9 расположены в разных подзонах: первые в подзоне средней, вторые в подзоне южной тайги.

Таблица 54

Корреляционная матрица флор техногенных объектов лесной зоны

Объект	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
Л-1		0,47	0,42	0,16	0,37	0,17	0,17	0,40	0,41	0,36
Л-2	0,63		0,49	0,25	0,34	0,22	0,26	0,49	0,44	0,34
Л-3	0,56	0,54		0,08	0,48	0,05	0,18	0,40	0,39	0,33
Л-4	0,41	0,39	0,22		0,13	0,22	0,27	0,28	0,39	0,19
Л-5	0,56	0,54	0,53	0,34		0,12	0,24	0,39	0,46	0,48
Л-6	0,23	0,26	0,05	0,47	0,21		0,32	0,25	0,30	0,22
Л-7	0,44	0,48	0,30	0,47	0,45	0,42		0,34	0,46	0,35
Л-8	0,61	0,60	0,60	0,43	0,63	0,32	0,55		0,52	0,38
Л-9	0,60	0,58	0,45	0,62	0,55	0,43	0,55	0,65		0,46
Л-10	0,53	0,43	0,39	0,44	0,48	0,33	0,49	0,56	0,52	
Общее число видов	86	88	78	149	51	62	78	70	75	98

Примечание. В верхней части матрицы — коэффициент корреляции с учетом обилия видов, в нижней — коэффициент корреляции с учетом постоянства видов.

Использование индексов сходства позволяет сравнить попарно флору двух объектов. Для сопоставления всех флор зоны использовался метод главных компонент. Основой для сравнения флористических списков методом главных компонент является корреляционная матрица (табл. 54). Сравнение проводилось с учетом обилия видов и балла постоянства. Балл постоянства отражает частоту присутствия вида и равен сумме классов постоянства 10-ти взятых для анализа объектов, таким образом, максимальный балл постоянства 100. Он показывает, что вид присутствует во всех описаниях. Постоянство (класс постоянства) вида определялось по количеству ценозов, в которых имеется данный вид, и выражалось в процентах от общего количества описанных ценозов (Шенников, 1964). Естественно, что коэффициенты корреляции флор с учетом балла постоянства видов выше, чем с учетом их обилия, и более близки по значению к индексам сходства Чекановского — Сьерсенсена.

Сравнение флор отдельных объектов методом главных компонент позволило определить нагрузки по двум факторам (табл. 55). В соответствии с величиной факторных нагрузок флоры отдельных объектов разделились на три группы, особенно четко с учетом обилия видов. Первую

группу составляют флоры Л-1, Л-2, Л-3, Л-5 — с лесным типом зарастания, где высокие нагрузки по фактору 1 обеспечила группа лугово-лесных видов. Вторая группа (Л-8, Л-9, Л-10) — переходная, а третью группу составляют флоры, высокие факторные нагрузки в которых (фактор 2) обеспечили сорные виды, что подтверждается соотношением ценотических групп (см. рис. 13).

Таблица 55

**Факторные нагрузки флор техногенных объектов лесной зоны
с учетом обилия и постоянства видов**

Объект	Обилие видов		Объект	Постоянство видов	
	Фактор 1	Фактор 2		Фактор 1	Фактор 2
Л-3	0,80	0*	Л-3	0,85	0
Л-5	0,72	0	Л-1	0,77	0,27
Л-1	0,70	0	Л-8	0,76	0,38
Л-2	0,68	0	Л-5	0,75	0
Л-8	0,61	0,40	Л-2	0,74	0,29
Л-10	0,58	0,33	Л-9	0,58	0,61
Л-9	0,57	0,56	Л-10	0,53	0,49
Л-7	0	0,69	Л-6	0	0,84
Л-6	0	0,69	Л-4	0	0,77
Л-4	0	0,66	Л-7	0,41	0,64

* Факторная нагрузка < 0,25.

Многие авторы отмечают перспективность применения метода главных компонент для анализа геоботанических данных, подчеркивая при этом, что основная трудность его употребления в биологической интерпретации факторов (Василевич, 1969, 1972; Грейг-Смит, 1967; Миркин, Розенберг, 1978; и др.). Опыт использования этого метода для сравнения флористических списков техногенных объектов дает возможность более глубокого их рассмотрения по сравнению с общепринятыми методами флористического анализа. В данном случае первый фактор отражает влияние общих зонально-климатических условий, которые обуславливают лесной тип зарастания в рассматриваемой зоне, второй — своеобразных экологических, в первую очередь эдафических, условий (см. табл. 55, рис. 14). По второму фактору с высокими значениями факторных нагрузок выделились флоры отвалов, имеющих специфический субстрат: асбестовых отвалов (Л-7), террикоников (Л-6), золоотвалов (Л-4) и известняковых и доломитовых отвалов (Л-9), сложенных щебенкой этих пород с небольшой примесью рыхлых песчано-глинистых карстовых отложений. Сильной каменистостью характеризуются и терриконики. Своеобразие

свойств зо́лы, как субстрата для растений, охарактеризовано М. В. Пасынковой (1974). Общей отличительной чертой отвалов со специфическим субстратом, как местообитаний для растительности, является их относительная «ксероморфность», связанная с малой водоудерживающей способностью и высокой водопроницаемостью. На этих отвалах, на первых этапах формирования растительности, формируются преимущественно травянистые растительные сообщества.

Взаиморасположение флор техногенных объектов можно изобразить геометрически, когда нагрузки по двум ортогональным главным компонентам принимаются за координаты, определяющие положение изученных флор в факторном пространстве (см. рис. 14). Расположение флор практически не различается при проведении анализа с учетом постоянства или обилия видов (Чибрик, Елькин, 1991).

При анализе парциальных флор был вычислен балл постоянства видов, который равен сумме классов постоянства видов в сообществах всех изученных объектов зоны.

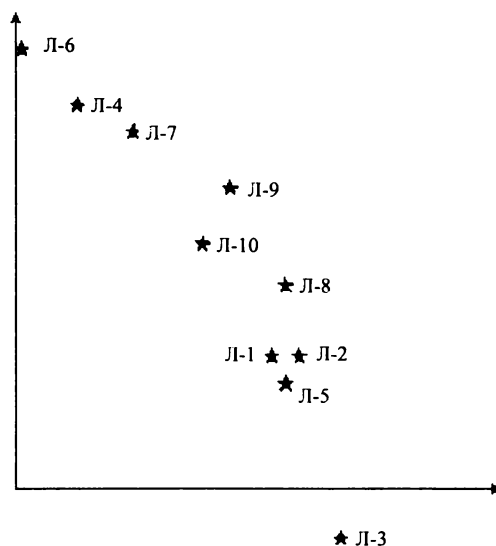


Рис. 14. Взаиморасположение флор техногенных объектов таежной зоны в факторном пространстве (шифр см. в табл. 52)

На каждом из изученных объектов максимальный класс постоянства вида равен 10, когда вид присутствует более чем в 91 % геоботанических описаний (или учетных площадок). Возможный максимальный балл по-

стоянства для 10 техногенных объектов таежной зоны — 100. Он показывает, что вид на всех техногенных объектах имел X класс постоянства. Подобным образом был вычислен балл доминирования видов.

Таблица 56

**Характеристика постоянства видов
в техногенных ландшафтах таежной зоны**

№ п/п	Вид	Балл посто- янства	Классы постоянства по объектам									
			Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
1	<i>Picea obovata</i> Ledeb.	22	3	5	6	—	4	—	—	3	1	—
2	<i>Pinus sylvestris</i> L.	66	5	6	9	6	10	—	6	9	7	8
3	<i>Betula pendula</i> Roth	59	3	6	7	5	8	—	6	10	5	9
4	<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	21	1	2	—	6	—	3	1	4	4	—
5	<i>Stellaria graminea</i> L.	25	1	3	—	6	3	2	5	2	1	2
6	<i>Chenopodium album</i> L.	29	2	5	—	6	—	6	3	—	2	5
7	<i>Polygonum aviculare</i> L.	25	1	2	—	6	—	6	1	3	2	4
8	<i>Rumex crispus</i> L.	31	1	7	—	4	—	—	9	4	4	2
9	<i>Viola canina</i> L.	26	6	3	4	4	3	—	—	5	1	—
10	<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	31	1	—	2	9	4	8	—	—	7	—
11	<i>Populus tremula</i> L.	46	1	6	7	5	4	—	3	9	5	6
12	<i>Salix caprea</i> L.	59	5	5	7	5	4	—	9	9	8	7
13	<i>Fragaria vesca</i> L.	37	1	7	6	1	8	2	3	5	1	3
14	<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	23	1	3	4	—	—	4	—	6	1	4
15	<i>Rubus idaeus</i> L.	21	2	5	4	1	—	—	3	5	1	—
16	<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl	56	7	5	6	8	9	2	3	3	5	8
17	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klášková	41	2	4	7	1	9	—	1	9	6	2
18	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	43	8	5	7	6	5	—	3	6	2	2
19	<i>Trifolium medium</i> L.	27	4	—	4	1	4	—	—	3	6	5
20	<i>Trifolium pratense</i> L.	63	6	10	9	7	4	2	5	5	10	5
21	<i>Vicia cracca</i> L.	34	3	3	—	7	8	—	3	2	5	3
22	<i>Vicia sylvatica</i> L.	27	2	10	6	—	7	—	—	2	—	—
23	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	81	7	10	9	8	10	5	6	9	9	8
24	<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	32	2	1	—	8	—	7	5	—	3	6
25	<i>Linaria vulgaris</i> L.	48	1	3	—	9	2	8	6	8	8	2

№ п/п	Вид	Балл постоянства	Классы постоянства по объектам									
			Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7	Л-8	Л-9	Л-10
26	<i>Achillea millefolium</i> L.	70	10	8	7	9	6	4	6	7	10	3
27	<i>Artemisia absinthium</i> L.	35	—	3	—	4	—	10	5	3	5	5
28	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	28	—	—	—	8	3	5	6	3	1	2
29	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess.	52	5	6	6	6	3	3	3	4	9	7
30	<i>Crepis tectorum</i> L.	29	1	8	—	7	—	3	1	—	9	—
31	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	23	—	—	—	7	3	—	1	4	—	8
32	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	31	1	5	6	8	—	—	3	—	5	3
33	<i>Solidago virgaurea</i> L.	26	4	3	6	3	2	—	—	6	—	2
34	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	21	2	7	2	—	4	—	1	4	—	1
35	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	62	6	9	2	6	7	5	6	9	6	6
36	<i>Tussilago farfara</i> L.	79	5	10	6	10	10	6	6	10	10	9
37	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	34	4	7	—	4	3	4	6	3	—	3
38	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	50	5	8	7	8	—	3	—	6	7	6
39	<i>Elytrogia repens</i> (L.) Nevski	40	3	3	2	10	2	3	5	2	7	3
40	<i>Festuca rubra</i> L.	52	3	5	2	2	6	6	5	9	10	3
41	<i>Poa pratensis</i> L.	59	2	10	7	9	9	5	3	5	7	2
42	<i>Poa trivialis</i> L.	37	7	10	2	7	—	—	—	4	4	3

Балл постоянства, на наш взгляд, свидетельствует о степени активности внедрения вида в техногенные ландшафты (Дидух, 1982; Юрцев, 1968, 1982). Из 260 видов, описанных на техногенных объектах таежной зоны, высокий балл постоянства (более 20) имеют 42 вида, многие из которых на части территории участвуют в формирующихся фитоценозах в качестве доминантов (Быков, 1960–1965) по проективному покрытию и обилию. Приведенные виды (табл. 56), по сути, составляют ядро флористического комплекса изученных парциальных флор техногенных ландшафтов таежной зоны. Биоэкологическая характеристика этих видов показывает, что по продолжительности жизни преобладают многолетники, составляющие 88,1 % от общего числа видов, но на ранних этапах формирования растительного покрова на безжизненных пространствах техногенных неозкотопов фитоценозотически значимы однолетники и одно-двулетники, которые на некоторых объектах доминируют по массе и численности. Преобладают корневищные (42,85 %) и стержнекорневые

виды (26,25 %) мезофитного типа. Мезофиты составляют 71,5 % и представлены разными жизненными формами (по Раункиеру): доля преобладающей группы гемикриптофитов 31 %, но суммарно с травянистыми хамефитами и промежуточной группой геофитов-гемикриптофитов составляют 64,3 %, 16,7 % составляют фанерофиты (но они доминируют), на долю терофитов и терофитов-гемикриптофитов (одно-двулетников) приходится лишь 11,9 %. По ландшафтно-зональной принадлежности лидируют луговые (35,7 %) и лесные виды (23,9 %), но велика доля сорно-рудеральных (19,0 %) и лугово-сорных видов (14,2 %). Ареалогический анализ выявил в широтном отношении преобладание бореальных видов (85,7 %), которые совместно с полизональными составляют 95,2 %; в долготных группах преобладают евразийская (52,4 %) и циркумполярная (23,8 %).

По нашим наблюдениям, на нарушенных промышленностью землях формируются, как правило, обедненные по видовому составу биоценозы. Здесь в полной мере проявляются тенденции антропогенных изменений растительного покрова Земли (Горчаковский, 1979).

На изученных объектах таежной зоны описано 260 видов высших сосудистых растений, принадлежащих 40 семействам и 164 родам. Наиболее разнообразно по числу родов (28) и видов (44) семейство *Asteraceae*; на 2-м и 3-м местах *Рoaceae* и *Fabaceae* (соответственно родов 17 и 8, видов 31 и 22); 4-е место занимает семейство *Rosaceae* (10 родов, 19 видов); на 5-м и 6-м местах *Brassicaceae* и *Scrophulariaceae* (13 и 9 родов, 16 и 12 видов). Семейство *Polygonaceae* представлено 11 видами из 2 родов: *Rumex* и *Polygonum*. Видовая насыщенность семейства — 6,5 (среднее число видов, приходящееся на одно семейство), родовая насыщенность семейства — 4,1 (среднее число родов, приходящееся на одно семейство), видовая насыщенность рода — 1,59 (среднее число видов, приходящееся на один род).

Таким образом, установлено, что существуют «возрастные» границы при восстановлении фиторазнообразия на техногенных объектах: I этап (период вселения) — наиболее интенсивно фиторазнообразие возрастает на молодых отвалах (до 15 лет); II этап — несколько стабилизируется на средневозрастных (до 25–30 лет) — период экотопического отбора и разрастания видов с преимущественно вегетативным размножением; III этап — интенсификация восстановления фиторазнообразия — проявляется на старых отвалах (старше 30–40 лет), когда сформировался биотоп, достаточно выражен древесный ярус и начинается формирование кустарникового и травянистого ярусов при эдификаторном воздействии древесного яруса.

2.3. Структура ценопопуляций видов-доминантов травянистых растительных сообществ

Сравнительная характеристика ценопопуляций Calamagrostis epigeios (L.) Roth в техногенных ландшафтах

Самостоятельное значение в плане изучения адаптационной способности растений и направлений трансформации растительного покрова в промышленно развитых регионах имеет изучение ценопопуляций видов, являющихся доминантами и эдификаторами растительных сообществ, возникающих при самозарастании.

Важную роль в процессе самозарастания нарушенных земель играют вегетативно-подвижные растения. Они обладают хорошо выраженной способностью к вегетативному возобновлению и размножению, способностью осваивать новые территории с помощью зачатков, физиологически более сильных, чем семена, повышенной анатомической, морфологической и физиологической пластичностью. По Е. Л. Любарскому, группа вегетативно-подвижных растений имеет ряд существенных биологических, экологических, фитоценотических преимуществ перед другими растениями (Любарский, Полуянова, 1984).

К группе вегетативно-подвижных растений относится *Calamagrostis epigeios* — длиннокорневищный злак, часто являющийся доминантом в растительных сообществах, сформированных в процессе самозарастания золоотвалов ЮУГРЭС и ВТГРЭС на участках, не подвергавшихся рекультивации. Этот вид, наряду с *Elytrigia repens* и *Poa pratensis*, имеет высокие баллы постоянства и доминирования в растительных сообществах, формирующихся на других типах нарушенных промышленностью земель (Чибрик, Елькин, 1991).

Балл постоянства (Чибрик, Елькин, 1991) *Calamagrostis epigeios* в сообществах степной зоны — 15, лесостепной — 73, лесной — 34 (сравнение соответственно для *Elytrigia repens* — 24, 80 и 40; для *Poa pratensis* — 15, 40 и 59), а балл доминирования соответственно 11, 50 и 12 (для *Elytrigia repens* — 12, 40 и 19; для *Poa pratensis* — 4, 18 и 22).

В степной и лесостепной зонах *Calamagrostis epigeios* примерно в 2/3 растительных сообществ является доминантом, часто образуя почти одновидовые заросли. В растительных сообществах лесной зоны этот вид является доминантом значительно реже, примерно в 1/3 растительных сообществ.

Calamagrostis epigeios широко распространен в лесной зоне, также в лесостепи и горных районах. На местах сведенных лесов в первые годы

формирования луга часто образует почти чистые заросли. Является обыкновенным растением на материковых суходольных местоположениях и в поймах рек в местах отложения песчаного наилка (Флора Центральной Сибири, 1979). Нетребователен к почве, растет на песке, выносит значительное засоление. Приурочен к хорошо дренированным почвам разной степени оподзоленности. Одно из основных растений лесостепи Западной Сибири на солонцеватых и солонцевато-солончаковых почвах (Кормовые растения..., 1950). Типичными местообитаниями *Calamagrostis epigeios* являются сухие луга и лесные поляны, разреженные леса, приречные пески и галечники, т. е. он предпочитает сухие песчаные и супесчаные почвы (Цвелев, 1976).

Поселяется на золоотвалах и других типах нарушенных земель естественным путем благодаря своей широкой пластичности и приспособляемости. Вследствие того, что корневища образуют дернину, *Calamagrostis* хорошо закрепляет зольный субстрат и склоновые поверхности, в результате чего уменьшается ветровая и водная эрозия. *Calamagrostis*, как и другие цветковые растения, способствует обогащению зольного субстрата органическими и минеральными веществами, благодаря чему активизируется деятельность почвенной микрофлоры, создаются условия для прохождения последующих стадий сингенеза формирующимися растительными сообществами.

Calamagrostis epigeios — многолетнее травянистое поликарпическое длиннокорневищное растение с вневлагалищным типом возобновления побегов. В соответствии с разработанной классификацией (Ценопопуляции растений..., 1976) этот вид относится к явно полицентрическому типу биоморф. Взрослые особи *Calamagrostis epigeios* характеризуются наличием нескольких выраженных центров разрастания особей. Каждый из таких центров является местом сосредоточения корней, побегов и почек возобновления и представляет собой относительно автономную часть особи. Такими центрами могут быть парциальные кусты или, при отсутствии кущения, парциальные побеги. *Calamagrostis epigeios* имеет два типа побегов: укороченные вегетативные и генеративные.

Изучение ценопопуляций *Calamagrostis epigeios* проводилось в фитоценозах, сформировавшихся в процессе самозаращания, где *Calamagrostis* выступал в качестве доминирующего вида. На золоотвале ЮУГРЭС исследования проводились в июле 1990 и 1991 гг., на золоотвале ВТГРЭС — в июле 1991 и 1992 гг., в Коркинском угольном разрезе — в июле 1992 г. на двух участках, расположенных на глубине 14 (участок I) и 64 м (участок II).

Краткая характеристика техногенных объектов дана в табл. 48.

Для сравнительной характеристики численности и морфоструктуры ценопопуляций в качестве «фитоценотической счетной единицы» (ценобионта) рассматривались парциальные побеги. Они представляют собой элементарные центры воздействия особи на среду (Ценопопуляции растений..., 1976).

Растительность участка самозарастания на золоотвале ЮУГРЭС представлена разнотравно-полынно-вейниковым сообществом с общим проективным покрытием 70–95 %. Местами видны пятна золы. Задерненность 40–90 %. На золе встречается *Chamaecytisus ruthenicus*, из древесных был встречен только *Elaeagnus angustifolia*. Основную роль в сложении травостоя этого сообщества играют *Calamagrostis epigeios* (встречаемость 62 % в 1990 г. и 97 % в 1991 г.), *Artemisia absinthium* (встречаемость соответственно 54 и 35 %), *Artemisia dracunculus* (10 и 11 %), *Lactuca tatarica* (26 и 28 %), *Echium vulgare* L. (11 и 19 %), *Melilotus albus* (14 и 16 %). Всего зарегистрировано 37 видов.

На чистой золе золоотвала ВТГРЭС сформировалось разнотравно-бобово-злаковое сообщество. Травостой довольно густой, общее проективное покрытие составляет 85–100 %. Задерненность — 80–100 %. Аспект создается *Calamagrostis epigeios* (встречаемость 100 %), пятнами *Trifolium pratense* (16 %), *Amoria repens* (11 %), *Artemisia vulgaris* (18 %), *Cirsium setosum* (23 %), *Persicaria hydropiper* (L.) Spach (13 %), *Chenopodium album* (12 %), взаимопроникающими группировками *Deschampsia caespitosa* (30 %), *Festuca rubra* (30 %). Всего было зарегистрировано 32 вида травянистых растений. Из древесных единично встречаются *Salix* sp., *Populus tremula*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*.

В Коркинском разрезе на первом участке сформировалось разнотравно-злаковое сообщество (проективное покрытие 60–70 %). Доминирующую роль в сложении травостоя играет *Calamagrostis epigeios* (встречаемость 100 %). В качестве преобладающих видов следует назвать *Agrostis gigantea* (встречаемость 25 %), *Trifolium pratense* (12 %), *Artemisia vulgaris* (17 %), *Convolvulus arvensis* (11 %), *Achillea millefolium* (18 %). Всего зарегистрировано 32 вида. Единично встречаются *Elaeagnus angustifolia* и *Pinus sylvestris*.

Растительность второго участка представлена разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием 35–50 %. Основную роль в сложении травостоя этого сообщества также играет *Calamagrostis epigeios* (встречаемость 100 %), *Artemisia vulgaris* (16 %), *Achillea millefolium* (18 %), *Medicago lupulina* L. (10 %), *Tussilago farfara* (10 %). Из древесных описаны *Acer negundo* L. и *Populus* sp. Всего зарегистрировано 34 вида.

Пространственная структура ценопопуляций проявляется в характере размещения особей (парциальных образований). Пространственное размещение направлено на достижение оптимальной плотности в условиях ценотической конкуренции. Пространственную структуру можно рассматривать как в вертикальном (ярусность), так и в горизонтальном (мозаичность) направлении (Заугольнова и др., 1988). При анализе горизонтальной структуры ценопопуляции обычно устанавливается характер размещения особей по площади ценоза. Принято различать случайное, регулярное и групповое размещение (Одум, 1975). Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о том, что ценобионты *Calamagrostis epigeios* произрастают на исследуемых вариантах более или менее равномерно, о чем свидетельствует высокий коэффициент встречаемости (100 %). Такое относительно равномерное распределение *Calamagrostis* по площади обусловлено биологическими особенностями вида, способностью его быстро расселяться по площади за счет корневищ.

Вместе с тем можно выделить отдельные участки (ценопопуляционные локусы), отличающиеся высокой относительной плотностью произрастания побегов. Так, общее количество побегов на 1 м² изменяется от 64 до 716 шт. при среднем числе побегов 371 шт. на золоотвале ВТГРЭС в 1991 г., от 59 до 692 шт. при среднем числе побегов 349 шт./м² в 1992 г., от 62 до 516 шт. при среднем числе побегов 289 шт./м² на первом участке и от 87 до 564 шт. при среднем числе побегов 314 шт./м² на втором в Коркинском угольном разрезе в 1992 г. (табл. 57).

Таблица 57

**Структура и численность на 1 м² ценобионтов
Calamagrostis epigeios в изученных ценопопуляциях**

Местообитание	Генера- тивные	Вегета- тивные	Общее число		% генератив- ных от общего числа	Встречае- мость, %
	X_{cp}	X_{cp}	lim	X_{cp}		
ЮУГРЭС-90	34	73	1–380	107	32	62
ЮУГРЭС-91	23	134	1–568	157	15	97
ВТГРЭС-91	111	260	64–716	371	30	100
ВТГРЭС-92	88	261	59–692	349	25	100
Коркино-92-1	59	230	62–516	289	21	100
Коркино-92-2	63	251	87–564	314	23	100

Анализ данных, отражающих изменение числа побегов *Calamagrostis* на учетных площадках вдоль трансекты, показал, что какой-либо строгой зависимости между характером произрастания растений и экотопически-

ми условиями не наблюдается. Вероятно, отсюда следует, что ведущий фактор, обуславливающий особенности горизонтальной структуры ценопопуляций *Calamagrostis epigeios*, — это биологические особенности вида.

Представление о плотности ценопопуляций *Calamagrostis epigeios* дает структура побегов на единицу площади. Генеративные побеги на золоотвале ВТГРЭС в 1991 г. составили 30 % при общем числе побегов 371 шт./м², в 1992 г. — 25 % при общем числе побегов 349 шт./м², в Коркинском угольном разрезе на первом участке — 21 % при общем числе побегов 289 шт./м², на втором — 23 % при общем числе побегов 314 шт./м².

Уменьшение процента генеративных побегов на золоотвале ВТГРЭС в 1992 г. по сравнению с 1991 г. может быть связано с неблагоприятными экологическими условиями лета 1992 г. — холодным и дождливым периодом большей части лета.

Кроме *Calamagrostis epigeios* на 1 м² на золоотвале ВТГРЭС встречалось от 2 до 18 других видов, в среднем по всей ценопопуляции 14 видов. Это следующие виды: *Lathyrus pratensis*, *Trifolium pratense*, *Amoria repens*, *Chenopodium album*, *Fragaria vesca*, *Salix* sp., *Betula pendula* и др. Наибольшее распространение получили растения семейства бобовых — *Trifolium pratense*, *Amoria repens* и *Lathyrus pratensis*, их обилие достигало значений сор₂–сор₃ (по шкале Уранова — Друде). Эти виды можно считать содоминантами *Calamagrostis epigeios*. Остальные виды встречались единично.

В Коркинском угольном разрезе на 1 м² кроме *Calamagrostis epigeios* встречалось от 10 до 17 других видов. Это такие виды, как *Achillea millefolium* (обилие sol), *Artemisia vulgaris* (sol), *Trifolium pratense* (sol), *Convolvulus arvensis* (sol), *Tussilago farfara*, *Poa trivialis*, *Agrostis gigantea*, *Vicia cracca*, *Taraxacum officinale* (сор_{2 3}) и др.

Вертикальная структура ценопопуляций рассматривалась как вертикальная неоднородность побегов *Calamagrostis epigeios* (ярусность). Она тесно связана с размерами и возрастным состоянием растений. В вертикальной структуре травостоя *Calamagrostis* в исследуемых ценопопуляциях отчетливо выделяются два основных яруса: 1-й ярус образуют генеративные побеги высотой 70–120 см на золоотвале ВТГРЭС и 50–110 см в Коркинском угольном разрезе, 2-й ярус — вегетативные побеги высотой 40–80 см на золоотвале ВТГРЭС и 20–50 см в Коркинском угольном разрезе.

Кроме того, в пределах каждой возрастной группы наблюдается большое варьирование особей по высоте (табл. 58). Этот показатель по всем местообитаниям имеет Cv от 11 до 18. Исключение составляют

**Морфологические показатели вегетативных ценобионтов
изученных ценопопуляций *Calamagrostis epigeios***

Показатель	ЮУГРЭС*-90			ЮУГРЭС-91**			ВТГРЭС-91			ВТГРЭС-92			Коркино-92-1***			Коркино-92-2		
	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %
Высота побега, см	26,9-58,1	42,8	17	16,9-79,5	38,3	30	20,2-122,2	62,7	26	23,8-89,4	57,7	21	17,4-50,5	32,3	23	22,7-55,1	36,3	22
Вес побега, г	0,18-1,54	0,59	49	0,06-2,81	0,55	69	0,06-2,47	0,65	72	0,08-1,78	0,51	60	0,06-0,57	0,29	48	0,06-0,81	0,25	52
Количество листьев, шт.	5-10	7	19	2-1	7	49	2-10	5	29	2-12	6	30	2-5	3	24	2-6	3	26

* Местонахождение ценопопуляций соответственно на золотавалах ЮУГРЭС, ВТГРЭС и в Коркинском угольном разрезе (Коркино);

** — год наблюдений; *** — соответственно участки 1 и 2 (здесь и в табл. 59).

Морфологические показатели генеративных ценобионтов изученных ценопопуляций *Calamagrostis epigeios*

№ п/п	Показатель	ЮУГРЭС*-90			ЮУГРЭС-91**			ВТГРЭС-91			ВТГРЭС-92			Коркино-92-1***			Коркино-92-2		
		lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %
1	Высота побега, см	64,0-106,0	80,2	16	50,0-101,2	73,6	15	64,0-159,8	107,8	18	39,8-127,4	107,3	89	44,4-106,5	70,7	22	50,5-115,1	83,6	11
2	Количество узлов на удлиненной части побегов, шт.	2-4	3	16	2-4	3	14	2-5	3,6	16	2-5	2,9	24	2-4	2,6	29	2-4	2,7	21
3	Количество живых листьев, шт.	5-12	7	21	6-15	10	21	5-13	7,6	25	3-12	6,4	27	2-7	3,68	36	2-6	3,3	26
4	Размеры листа, см: длина пред- флажья ширина пред- флажья	15,1-36,0	23,1	28	13,0-34,0	24,4	16	17,5-45,8	28,8	21	12,7-39,7	24,4	20	10,9-29,2	18,8	26	14,3-28,3	20,5	17
		0,6-0,12	0,7	12	0,5-0,12	0,7	18	0,5-0,12	0,7	24	0,2-0,8	0,4	29	0,3-0,7	0,5	26	0,3-0,8	0,5	25

№ п/п	Показатель	ЮУГРЭС*-90			ЮУГРЭС-91**			ВТГРЭС-91			ВТГРЭС-92			Коркино-92-1***			Коркино-92-2		
		lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %	lim	X _г	Cv, %
5	Вес побега, г	0,53-4,71	1,80	39	1,0-4,5	2,1	35	0,65-4,63	2,2	39	0,57-3,07	1,52	32	0,31-2,8	0,94	42	0,66-2,72	1,56	32
6	Длина соцветий, см	8,7-23,0	15,3	20	9,5-21,8	15,4	16	9,6-25,8	16,1	22	10,7-21,7	16,2	17	7,6-16,4	12,0	19	10,9-17,7	14,6	15
7	Количество мутовок в соцветии, шт.	4-11	7,5	17	6-11	8,0	14	4-10	7,0	16	6-15	9,8	13	6-13	9,4	16	8-11	9,3	77
8	Количество веточек в мутовках, шт.	15-76	41,0	27	20-63	40,6	20	18-71	38,0	26	21-57	36,0	18	23-55	37,0	18	31-52	40,0	13
9	Количество колосков во 2-й мутовке, шт.	74-420	231	30	69-504	229	36	14-67	35,4	54	10-33	24,7	39	11-50	27,0	35	20-51	36,8	20
10	Вес соцветия, мг.	5-99	37	48	15-78	39	35	10-99	43	51	8-62	28,6	40	7-55	20,2	48	14-86	38,9	42

данные 1992 г. по ценопопуляции *Calamagrostis epigeios* на золоотвале ВТГРЭС. Средние значения высоты генеративных ценобионтов на золоотвале ЮУГРЭС и в Коркинском разрезе близки, а на золоотвале ВТГРЭС значительно выше. Следует отметить разницу по среднему значению высоты ценобионтов на разных местообитаниях в Коркинском разрезе, где наблюдения проводились одновременно.

Количество узлов на удлиненной части побега варьирует от 2 до 5 при среднем значении 2,6-3,6 (Cv 14-29). Число живых листьев по пределам варьирования и средним значениям убывает в ряду золоотвалы ЮУГРЭС — ВТГРЭС — Коркинский разрез. Эти два признака слабо скоррелированы как между собой, так и со всеми другими (табл. 59).

Длина и ширина предфлажья являются своеобразным тестом на величину ассимилирующей поверхности ценобионтов, определяющей такой его интегральный показатель, как общий вес. Об этом свидетельствует высокий уровень корреляции этих признаков — коэффициент корреляции независимо от местообитания не ниже 0,6 (от 0,6 до 0,8).

Средняя длина предфлажья убывает в ряду золоотвалы ВТГРЭС — ЮУГРЭС — Коркинский разрез с 28,8 до 19,8 см при C_v от 16 до 26. C_v ширины предфлажья изменяются от 12 до 29.

Вес ценобионта, вероятно, более тесно связан с условиями местообитания, изменяется в довольно широких пределах, о чем свидетельствуют более высокие по сравнению с другими признаками C_v , хотя достаточно стабилен его уровень на разных местообитаниях (0,32–0,42).

Показатели 7–11 (см. табл. 59) характеризуют генеративную сферу ценобионтов. Эти признаки имеют высокий уровень корреляции с весом побега. Можно предполагать, что длина соцветия является тестом (отражает) интенсивности ростовых процессов. Такие признаки, как количество мутовок в соцветии, количество веточек в мутовках, количество колосков во второй мутовке, в большей степени являются отражением органообразовательных процессов. Вес соцветия, как и общий вес ценобионта, является центральным показателем развития генеративной сферы.

Ценопопуляции *Calamagrostis epigeios* являются структурным подразделением растительных сообществ. Существуют разные концепции формирования сообществ. Р. Уиттекер (1980) разработал концепцию формирования сообществ через дифференциацию ниш. По В. И. Василевичу (1979, 1982, 1983), причина существования сложных сообществ в наличии большого числа экологически равноценных растений и замедленного процесса конкурентного исключения из-за неподвижности растений. Р. Уиттекер под экологической нишей понимает позицию ценопопуляций в пределах конкретного сообщества, т. е. весь набор факторов, которые контролируют ее стабильность в сообществе. Число их практически бесконечно.

На нарушенных промышленностью землях формирование сообществ идет по типу первичных сукцессий, в определении А. П. Шенникова (1964), на открытом, практически безжизненном пространстве, часто в экстремальных эдафических (своеобразных по химическим и физическим свойствам) и микроклиматических условиях. На первых этапах формирования идет жесткий экотопический отбор и интенсивная элиминация растений, особенно в фазе проростков и всходов. Виды, имеющие преимущества по любому из жизненных параметров, обладают более высоким потенциалом для выживания и формирования жизнеспособной ценопопуляции. В этих условиях, на наш взгляд, определяющее значение в формировании растительных сообществ играет процесс дифференциации ниш.

При изучении формирования сообществ на нарушенных промышленностью землях интересные данные получены по микосимбиотрофиз-

му растений как одной из важнейших консортивных связей, способствующих улучшению их минерального питания. В связи с этим представляют интерес данные по микотрофности *Calamagrostis epigeios* в изученных местообитаниях.

С использованием методики А. И. Селиванова (1981) по изучению везикулярно-арбускулярных эндомикориз определены степень микотрофности, интенсивность микоризной инфекции и частота встречаемости микоризной инфекции *Calamagrostis epigeios*. В разных растительных сообществах на золоотвале ВТГРЭС степень микотрофности *Calamagrostis* изменялась от 0,28 до 1,77 балла, а в разнотравно-вейниковом сообществе, где проведено изучение морфоструктуры ценопопуляции *Calamagrostis*, она составила 2,17 балла. Аналогичные данные получены и по другим показателям. Интенсивность микоризной инфекции составила соответственно от 5,6 до 35,4 %, а в сообществах с доминированием *Calamagrostis epigeios* — 43,4 %; частота встречаемости микоризной инфекции 33–93 и 97 %. На золоотвале ЮУГРЭС в разнотравно-вейниковых сообществах эти показатели выше: степень микотрофности составила 3–4 балла, интенсивность микоризной инфекции 64–71 %, а частота встречаемости микоризной инфекции 100 %.

Структура ценопопуляций Calamagrostis epigeios (L.) Roth на золоотвале СУГРЭС

Изучение ценопопуляций *Calamagrostis epigeios* на золоотвале СУГРЭС проводилось в фитоценозах, сформировавшихся в процессе самозаращания на «чистой» золе и на рекультивированном участке (нанесение слоя почвы-торфа, посев *Bromopsis inermis*, *Phleum pratense* и *Dactylis glomerata*), где *Calamagrostis* выступал в качестве содоминанта.

Растительность участка самозаращания представлена злаково-разнотравным сообществом с общим проективным покрытием 70–80 %. Доминантами растительного сообщества являются *Bromopsis inermis* и *Erigeron acris* (sp gr–cop₁); *Oberna behen*, *Cirsium setosum* и *Taraxacum officinale* (sp–cop₁); *Calamagrostis epigeios* (sp gr). Растения встречаются неравномерно — средними и большими группами. В данном сообществе зарегистрирован 51 вид.

Растительность рекультивированного участка представлена разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием 95 %. Растительное сообщество представлено 57 видами. Среди них преобладают *Bromopsis inermis*, *Festuca pratensis* (cop₂); *Linaria vulgaris*, *Cirsium setosum*, *Phleum pratense* (cop₁–cop₂); *Melilotus albus* (cop₁); *Calamagrostis epigeios* (sp–cop₁); *Equisetum arvense* (sp gr–cop₁). Растительность распре-

делена более или менее равномерно. Выражен древесно-кустарниковый ярус, который представлен такими видами, как *Alnus incana*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *Rubus idaeus*. О пространственном распределении *Calamagrostis epigeios* можно судить по результатам анализа площадок, заложенных в виде трансект. На участке самозарастания *Calamagrostis epigeios* произрастает неравномерно (встречаемость 30 %). Среднее количество побегов 72 шт./м². Преобладают вегетативные побеги (80 %) (табл. 60). На рекультивированном участке *Calamagrostis* встречается более или менее равномерно (встречаемость 70 %). Среднее количество побегов — 134 шт./м². Для ценопопуляции характерно преобладание генеративных побегов (54 %).

Таблица 60

Структура и численность на 1 м² ценобионтов *Calamagrostis epigeios* в изученных ценопопуляциях на золоотвале СУГРЭС

Местообитание	Среднее количество побегов <i>Calamagrostis epigeios</i> , шт./м ²	Участие ценобионтов возрастных состояний, %		Среднее количество побегов других растений, шт./м ²
		Вегетативные	Генеративные	
Участок самозарастания	72	80	20	819
Рекультивированный участок	134	46	54	1 116

В вертикальной структуре травостоя *Calamagrostis epigeios* было выделено два основных яруса. Первый ярус образуют генеративные побеги высотой от 62,1 до 124 см (в среднем 99,7 см) — на рекультивированном участке и 53,9–111,5 см (88,2) — на участке самозарастания (табл. 61). Основная масса вегетативных побегов находится во втором ярусе. Высота вегетативных побегов колеблется от 21,8 до 77,3 см (в среднем 42,9 см) на участке самозарастания и 25–80,7 см (54,1) — на рекультивированном участке (табл. 62).

Биомасса *Calamagrostis epigeios* на рекультивированном участке составляет 124 г/м², на участке самозарастания значительно ниже — 31 г/м².

Таким образом, анализ побегов *Calamagrostis epigeios* показал, что более мощные и высокие побеги, но с менее развитой генеративной сферой (количество веточек в мутовках и колосков во 2-й мутовке) произрастают на рекультивированном участке. Данная ценопопуляция характери-

зуется и большей плотностью побегов, видимо, за счет лучших условий минерального питания и большего увлажнения субстрата.

Таблица 61

**Биометрические показатели генеративных ценобионтов
*Calamagrostis epigeios***

Показатель	Участок самозарастания			Рекультивированный участок		
	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %
Высота побега, см*	$88,2 \pm 1,05$	53,9–111,5	12	$99,7 \pm 1,17$	62,1–124	12
Количество узлов на удлинённой части побегов, шт.*	$3,2 \pm 0,06$	2–5	18	$4,1 \pm 0,09$	2–6	23
Количество живых листьев, шт.	$2,5 \pm 0,12$	1–7	45	$2,7 \pm 0,07$	1–4	26
Размеры листа, см: длина предфлажья* ширина предфлажья	$24,2 \pm 0,46$ $0,5 \pm 0,01$	15,3–39,2 0,3–0,8	18 25	$21,0 \pm 0,98$ $0,5 \pm 0,01$	11,3–32,6 0,3–0,8	17 19
Вес побега, г*	$1,85 \pm 0,06$	0,28–3,16	34	$1,63 \pm 0,05$	0,75–2,98	28
Длина соцветия, см	$13,9 \pm 0,31$	6,4–22,8	22	$14,7 \pm 0,24$	9,6–21,8	16
Количество мутовок в соцветии, шт.*	$14,4 \pm 0,18$	10–19	12	$15,5 \pm 0,15$	12–18	10
Количество веточек в мутовках, шт.*	$66,8 \pm 1,45$	25–105	21	$59,3 \pm 0,96$	39–86	16
Количество колосков во 2-й мутовке, шт.	$284 \pm 13,24$	46–675	45	$261 \pm 10,87$	97–642	42
Вес соцветия, г*	$0,40 \pm 0,02$	0,07–0,79	40	$0,31 \pm 0,01$	0,11–0,66	36

* По результатам t-test статистического анализа морфологических показателей ценобионтов *Calamagrostis epigeios* различия между вариантами являются достоверными (здесь и в табл. 62).

Таблица 62

**Биометрические показатели вегетативных ценобионтов
*Calamagrostis epigeios***

Показатель	Участок самозарастания			Рекультивированный участок		
	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %
Высота побега, см*	$42,88 \pm 1,07$	21,8–77,3	25	$54,14 \pm 1,05$	25,0–80,7	19
Количество живых листьев, шт.	$3,2 \pm 0,14$	1–8	42	$3,5 \pm 0,13$	1–8	38
Размеры самого развитого листа, см:						
длина	$26,98 \pm 0,82$	11,1–54,0	30	$28,35 \pm 0,85$	11–49,2	30
ширина*	$0,49 \pm 0,01$	0,2–0,7	25	$0,42 \pm 0,01$	0,2–0,7	31
Вес побега, г*	$0,49 \pm 0,03$	0,13–1,6	67	$0,38 \pm 0,02$	0,09–1,01	53

Структура ценопопуляций *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv на золоотвале ВТГРЭС

Deschampsia cespitosa — обычное растение лугов лесной зоны. Так называемые щучковые луга с доминированием этого вида распространены обычно на относительно сильно увлажненных участках речных долин и водоразделов с плохо аэрируемыми суглинистыми почвами (Флора северо-востока..., 1974). Это многолетний злак, образующий густые, плотные дерновины. Гемикриптофит, распространен циркумполярно. Растет на влажных болотистых и торфяных лугах, вблизи водоемов, на влажных глинистых или илистых тяжелых почвах с большим содержанием питательных веществ (Определитель сосудистых растений..., 1994).

Deschampsia cespitosa — малоценное в кормовом отношении растение, являющееся сильным конкурентом для многих хозяйственно ценных видов. Вокруг дерновин растений виргинильного возрастного состояния появляется «кольцо» 4–5 см шириной. «Кольцо» обладает токсическими свойствами и свободно от травостоя (Диагнозы и ключи..., 1980). «Кольцом» Л. А. Жукова и И. М. Ермакова (1967) называют небольшое пространство с разреженным травостоем или без него, окружающее дернину *Deschampsia*. Предполагается, что его образование можно связать с воздействием либо живых органов, либо разлагающихся остатков дерновины на растущие рядом растения. Именно благодаря этому «кольцу» возможны выявления и учет отдельных особей *Deschampsia cespitosa* среди травостоя. Оно («кольцо») препятствует поселению на лугах рядом со щучкой других видов.

При самозаращении промышленных отвалов, расположенных в лесной зоне, *Deschampsia cespitosa* часто является доминирующим видом.

В 1968–1971 гг. периферийная поверхность золоотвала ВТГРЭС была покрыта полосами грунта, на значительной части которых была проведена биологическая рекультивация. Центральная часть золоотвала была оставлена на самозаращение. При благоприятном увлажнении, которое обеспечивает также стабильность субстрата, формирование сообществ ускоряется. Это привело к тому, что на «чистой» золе через 20 лет сформировался закустаренный щучковый луг (Чибрик, Кравченко, 1990).

Исследования возрастного состояния и жизненности ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* проводились в 1990–1991 гг. и на том же участке были повторены в 1999–2000 гг. Своеобразие условий произрастания (участок «чистой» золы, на котором идет процесс вживания в новые условия) привело к быстрым сукцессионным изменениям:

закустаренный щучковый луг лета 1990 г. заметно отличается от того же фитоценоза в 1991 г. Большая роль в этом принадлежит подросту *Betula pendula* и *B. pubescens* и быстро развивающимся всходам и подросту *Salix* sp.

В 1999 г. в сообществе, обозначенном как щучковый луг, наибольшую встречаемость видов, помимо *Deschampsia cespitosa* (77 %), имеют *Cirsium setosum* (67 %), *Vicia cracca* (57 %), *Poa palustris* (70 %), *Calamagrostis epigeios* (37 %), *Taraxacum officinale* (40 %), *Sonchus arvensis* (37 %), *Linaria vulgaris* (30 %).

В 2000 г. для геоботанического описания были взяты два фитоценоза — щучковый луг и условно названный нами щучковый «лужок» на опушке. На щучковом лугу было заложено $14 \times 15 = 210$ раункиеровских площадок, на «лужке» — 15. Высокий процент встречаемости, помимо *Deschampsia cespitosa*, на щучковом лугу имеют *Calamagrostis epigeios* (58,7 %), *Trifolium pratense* (40 %), *Poa angustifolia* (40 %); на «лужке» — *Cirsium setosum* (60 %), *Betula pubescens* (53 %), *Salix pentandra* L. (67 %), *Poa angustifolia* (80 %), *Elytrigia repens* (40 %).

Можно предположить, что главными конкурентами *Deschampsia cespitosa* из травянистых растений будут *Calamagrostis epigeios*, *Poa angustifolia*, *Cirsium setosum*.

Исследуемую ценопопуляцию *Deschampsia cespitosa*, исходя из классификации Т. А. Работнова (1978), можно охарактеризовать как молодую популяцию нормального типа, так как в ней подрост преобладает над «состарившейся» частью и среди генеративных имеют место молодые генеративные особи. В среднем на 1 м² приходится от 219 (1990 г.) до 386 (1991 г.) особей. Разброс результатов возникает из-за широкого присутствия в популяции молодых (j и v) растений. Сухое и жаркое лето 1990 г. способствовало образованию большого количества генеративных побегов, которые и вызвали в 1991 г. «всплеск» молодых растений. Количественный и качественный состав возрастных групп в ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* свидетельствует о том, что семенное и вегетативное возобновление здесь идет интенсивно (табл. 63–67; рис. 15). Возрастной спектр популяции указывает на хорошую выживаемость *Deschampsia cespitosa* в неблагоприятных для вида условиях. Наличие большого количества молодых растений говорит о высокой жизненности вида.

Исследуемой ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* можно дать высокую оценку жизненного состояния, так как она обладает высокой семенной продуктивностью, в ней присутствуют разнообразные возраст-

ные группы и она имеет максимальный балл обилия при оценке присутствия вида в ценозе.

По данным 1999 г. число побегов *Deschampsia cespitosa* очень варьирует (табл. 68, 69). Проективное покрытие этого вида составляет от 10 до 90 % по показателю раункиеровских площадок.

Наибольшее количество побегов составляют вегетативные побеги (от 26 до 302 при среднем значении 147). Генеративных побегов меньше. На площадках, где имеются генеративные особи, количество генеративных побегов колеблется от 2 до 23, среднее значение 10.

Общий вес надземной массы вегетативных побегов варьирует от 7,94 до 39,69 г при среднем значении 22,4 г, а генеративных — от 1,31 до 26,92 г при среднем значении 11,2 г.

Таблица 63

Пространственная структура ценопопуляции
Deschampsia cespitosa (1990 г.)

№ площадки	Число особей по возрастному составу, шт.				Диаметр дернины, см				Число вегетативных побегов, шт.				Высота вегетативных побегов, см				Число генеративных побегов, шт.	Высота генеративных побегов, см
	g	v	j	—	g	v	j	—	g	v	j	—	g	v	j	—		
1	10	4	—	—	6,3	2,1	—	—	25,6	11	—	—	45,8	32	—	—	2,7	89,6
2	11	7	5	—	5,9	3,1	0,5	—	34,5	18,9	2,2	—	56,2	36,1	8,0	—	2,5	83,0
3	25	54	22	—	1,9	0,9	0,3	—	14	7,8	1	—	47	41,9	29,9	—	2,5	92,7
4	21	40	12	—	3,1	1,1	0,4	—	19,1	6,8	1	—	47,1	38,6	30,2	—	1,8	0,75
5	18	70	25	—	2,6	0,8	0,33	—	14,1	7,4	1	—	55,2	36,7	24,7	—	4,5	88,1
6	12	17	14	—	5,4	1,7	0,32	—	59,3	8,1	1	—	49,2	41,1	20,4	—	0,1	111,2
7	6	22	16	—	5,3	0,9	0,34	—	39,5	7,7	1	—	50,2	27,2	16,8	—	8,5	102,7
8	12	30	23	—	4,3	0,9	0,3	—	23,3	6	1	—	50,2	39,1	34,6	—	5,7	93,8
9	17	14	10	—	3,6	1,1	0,3	—	19,2	7,7	1	—	60,2	35,8	21,7	—	3,7	114,7
10	8	19	4	—	5,2	0,8	0,3	—	45,3	6,1	1	—	34,8	26,8	19,0	—	7,3	95,9

Средний вес одного вегетативного побега изменяется в пределах от 0,08 до 0,46 г при среднем значении 0,17 г. Генеративные побеги характеризуются большим средним весом одного побега от 0,46 до 3,37 г при среднем значении 1,17 г.

В 2000 г. для изучения ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* были выделены 2 варианта (табл. 70), генеративные побеги были взяты в двух фитоценозах — щучковый луг и условно названный щучковый «лужок» на опушке.

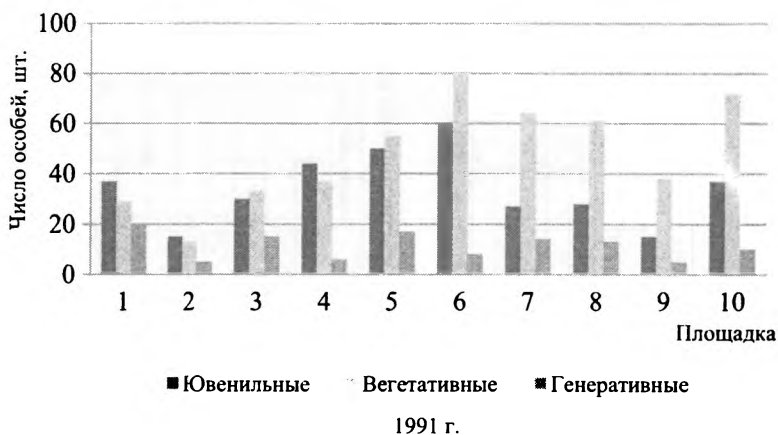
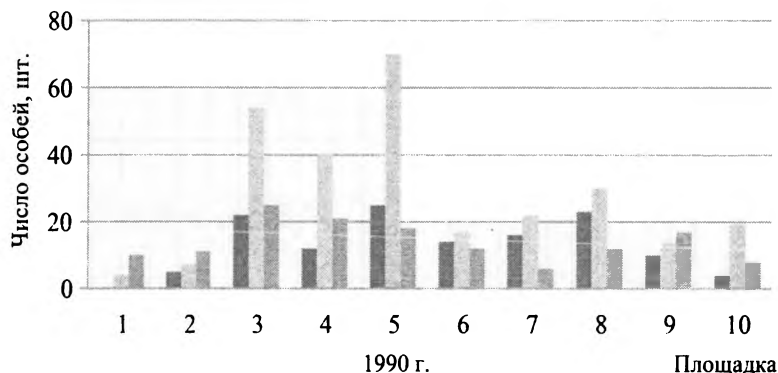


Рис. 15. Динамика возрастной структуры ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* на золоотвале ВТГРЭС

Высота побегов ювенильных особей *Deschampsia cespitosa* по учетным площадкам (1991 г.)

№ площадки	Высота вегетативных побегов, см				Св, %
	X_{cp}	lim	σ		
1	—	—	—	—	—
2	23,6	9-40	14,8	60	60
3	29,9	14-45	9,2	30	30
4	30,2	4-52	13,9	50	50
5	27,8	8-46	8,8	30	30
6	24,6	12-39	7,9	30	30
7	16,8	7-32	7,9	50	50
8	32,6	18-51	8,9	30	30
9	21,7	9-50	12,1	60	60
10	19,0	18-20	0,8	10	10

Высота и число побегов виргинильных особей по учетным площадкам (1991 г.)

№ пло- щадки	Число побегов			Высота побегов, см			Св, %
	X_{cp}	lim	σ	X_{cp}	lim	σ	
1	11,0	7-93	15,3	32,0	28-38	4,2	10
2	16,9	3-55	18,3	36,1	17-46	10,9	30
3	7,5	2-23	6,4	42,4	26-65	8,9	20
4	7,1	2-34	8,4	39,9	8-58	12,2	30
5	5,7	2-17	5,8	35,2	11-59	9,8	30
6	8,6	2-18	12,7	41,1	24-57	8,7	20
7	9,2	2-35	9,9	27,0	11-47	8,2	30
8	6,1	2-18	4,9	39,3	19-60	9,6	20
9	7,7	2-17	5,1	35,8	24-49	8,1	20
10	6,1	2-28	5,6	26,5	15-40	6,2	20

Высота и структура генеративных особей по учетным площадкам (1991 г.)

№ пло- щадки	Число генеративных побегов, шт.				Число вегетативных побегов, шт.				Высота генеративных побегов, см				Высота вегетативных побегов, см			
	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %
1	2,7	1-7	2,5	90	25,8	10-45	12,8	50	89,6	40-117	22,5	30	45,8	23-105	23,5	50
2	2,5	1-6	1,6	60	34,5	3-87	29,1	80	76,1	54-98	18,6	20	56,2	38-151	37,5	70
3	1,9	1-8	1,6	80	14,1	2-39	12,5	60	92,9	49-118	21,5	20	43,7	20-55	8,6	20
4	1,6	1-6	1,2	70	16,4	2-60	17,3	110	90,0	63-149	32,3	40	45,1	22-98	19,1	40
5	2,5	1-5	2,5	100	13,5	2-45	11,6	90	86,7	49-116	21,9	30	37,0	20-52	8,2	20
6	9,1	1-59	16,2	180	60,2	3-25	70,9	120	111,2	93-118	8,9	10	49,2	40-57	4,9	10
7	8,2	1-26	10,2	120	37,2	23-52	11,2	30	102,7	88-117	11,6	10	51,8	31-95	22,2	40
8	5,7	1-19	6,9	120	23,8	4-54	20,8	90	95,8	56-121	18,3	20	50,7	28-123	21,3	40
9	3,7	1-18	4,2	110	20,3	4-49	13,4	70	107,5	27-159	11,5	10	60,4	27-159	38,	60
10	7,3	1-31	10,6	150	45,3	7-45	61,4	130	95,9	64-125	20,1	20	34,5	23-45	28,5	20

Диаметр дернины особей по возрастному состоянию на учетных площадках, см

№ пло- щадки	Ювенильные				Виргинильные				Генеративные			
	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %	X _{ср}	lim	σ	Cv, %
1	—	—	—	—	2,6	1,5-7,0	2,9	110	6,3	3,0-10	9,2	30
2	0,4	0,3-0,5	0,2	40	2,0	0,5-4,5	0,5	80	5,7	2,0-12	3,5	60
3	0,5	0,3-0,5	0,8	150	0,9	0,3-2,0	0,6	70	2,1	0,5-4,5	1,3	62
4	0,4	0,3-0,5	0,1	30	1,1	0,5-3,5	0,9	80	3,3	1,0-8,0	2,2	67
5	0,5	0,3-0,5	0,7	140	0,8	0,5-3,8	0,5	70	2,7	0,7-8,0	1,9	70
6	0,3	0,2-0,5	0,1	30	1,4	0,4-5,0	1,2	90	5,3	1,0-12	3,4	60
7	0,3	0,2-0,5	0,1	30	0,9	0,7-2,0	0,6	70	5,3	3,5-8,0	2,0	40
8	0,3	0,2-0,5	0,1	20	1,0	0,5-2,5	0,7	70	4,3	0,8-11	3,7	90
9	0,3	0,2-0,3	0,3	20	1,2	0,5-5,0	1,2	90	3,6	1,0-12	2,6	70
10	0,3	0,2-0,3	0,1	20	0,7	0,5-2,0	0,4	50	5,4	1,8-13	3,6	70

**Количество побегов *Deschampsia cespitosa*
по учетным площадкам (1999 г.)**

№ пло- щадки	Возрастное со- стояние особей в соответствии с № площадки	Количество побегов, шт.		Всего	% генеративных побегов
		вегетативных	генеративных		
1	1 (g ₂)	240	3	243	1,2
	2 (j)	2	–	2	–
2	1 (g ₂)	113	2	115	1,7
	2 (v)	5	–	5	–
	3 (j)	3	–	3	–
3	1 (g ₁)	7	3	10	42,9
	2 (g ₁)	19	3	22	15,8
4	1 (v)	26	–	26	–
	2 (g ₁)	38	2	40	5,3
	3 (g ₁)	21	1	22	4,8
	4 (v)	7	–	7	–
	5(j)	3	–	3	–
	6 (j)	3	–	3	–
5	1 (g ₁)	137	3	140	2,1
6	1 (v)	106	–	106	–
7	1 (g ₁)	78	23	101	2,3
8	1 (v)	35	–	35	–
	2 (g ₁)	43	5	48	10,4
	3 (g ₁)	51	4	55	7,3
	4 (g ₁)	49	5	54	9,3
9	1 (g ₁)	522	3	55	5,5
	2 (g ₁)	39	6	45	13,3
	3(g ₁)	114	7	121	5,8
10	1 (g ₁)	41	5	46	10,9
11	1 (g ₁)	41	3	44	6,8
	2(g ₁)	38	2	40	5,0
	3(g ₁)	15	1	16	6,3
	4 (v)	16	–	16	–
	5(v)	75	–	75	–
12	1 (g ₁)	63	8	71	11,3
	2 (g ₁)	78	6	84	7,1
	3 (g ₁)	77	7	84	8,3
13	1 (g ₁)	121	16	137	1,2
14	1 (g ₁)	150	18	168	1,1
15	1 (v)	39	–	39	–
	2 (g ₁)	23	3	26	11,5
	3(g ₁)	156	6	162	3,7
	4(g ₁)	84	9	93	9,7
Итого	38	2 208	154	2 362	6,5

Таблица 69

**Количество и вес побегов *Deschampsia cespitosa*
на учетной площадке (0,25 м)**

№ площадки	Количество побегов, шт.		Вес надземной массы, г		Средний вес одного побега, г	
	вегетативных	генеративных	вегетативных	генеративных	вегетативного	генеративного
1	242	3	28,24	10,12	0,12	3,37
2	121	2	13,71	1,31	0,11	0,65
3	26	6	7,94	10,07	0,31	1,68
4	98	3	11,16	2,18	0,11	0,73
5	137	3	23,87	3,28	0,17	1,09
6	106	—	18,0	—	0,17	—
7	78	23	14,78	21,66	0,19	0,94
8	178	14	24,55	6,44	0,14	0,46
9	205	16	20,96	8,52	0,1	0,53
10	41	5	19,02	10,64	0,46	2,13
11	185	6	14,67	8,01	0,08	1,34
12	218	21	25,83	26,92	0,12	1,28
13	121	16	19,7	17,43	0,16	1,09
14	150	18	22,14	16,92	0,15	0,94
15	302	18	39,69	24,72	0,13	1,37
Среднее	147,2	10,3	22,4	11,2	0,17	1,17

Таблица 70

Статистические показатели генеративных побегов *Deschampsia cespitosa* на золоотвале ВТГРЭС

Показатель	Вариант I			Вариант II		
	X_{cp}	lim	$C_v, \%$	X_{cp}	lim	$C_v, \%$
Высота побега, см	96,1	67,1–121,9	14	104,5	55,1–162,0	14
Количество листьев, шт.	2,3	1–4	24	2,2	1–7	34
Длина флага, см	13,6	5,4–24,1	29	19,2	7,8–36,0	31
Ширина флага, мм	1,6	0,7–8	61	2,5	1–8	44
Длина соцветия, см	18,5	8,0–29,4	25	20,8	7,6–30,2	21
Количество узлов в соцветии, шт.	6,8	3–9	24	6,9	2–9	21
Количество веточек, шт.	20,9	5–38	30	20,5	7–31	24
Количество колосков, шт.	107,5	28–244	41	132,8	7–327	46
Вес побега, г	573,9	0,11–1,2	36	563,7	0,19–1,02	32
Вес соцветия, мг	160,3	0,02–0,41	44	155,5	0,02–0,34	47

Анализ генеративных побегов данного вида проводился по 10 показателям, характеризующим мощность побега, его репродуктивную систему. Для сравнения изменчивости различных признаков был вычислен коэффициент вариации (C_v).

Изученные признаки можно распределить по следующим уровням изменчивости:

- очень низкий и низкий ($C_v = 3\text{--}15\%$);
- средний ($C_v = 16\text{--}25\%$);
- высокий ($C_v = 26\text{--}50\%$);
- очень высокий (C_v выше 50%).

Самый низкий C_v в обоих вариантах у высоты побега ($14\text{--}16\%$). Это может говорить об однородности генетического материала в данной популяции.

Самый высокий коэффициент вариации на щучковом лугу у ширины флага цветущего генеративного побега (61%) и у количества листьев генеративного побега (66%). Эти показатели зависят от возрастного состояния особи.

Высота побегов колеблется от $55,1$ до 162 см, на лугу максимальная высота побега $121,9$ см, а на «лужке» — 162 см, минимальная высота побега на лугу $67,1$ см, на «лужке» — $55,1$ см. Средняя высота побега на лугу $96,1$ см, а на «лужке» — $104,5$ см. Количество узлов в соцветии $2\text{--}10$, в среднем на лугу — $6,8$, на «лужке» — $1\text{--}7$, в среднем на «лужке» — $2,2$, длина самого большого флага на лугу у цветущего соцветия $24,1$ см, на «лужке» — 36 см, в среднем на лугу — $13,6$ см, на «лужке» — $19,2$ см.

Согласно определению Браун-Бланке, жизненность — это степень развития и процветания различных видов в сообществе. Изучением жизненного состояния особей ценопопуляции в разное время занимались Л. А. Жукова, И. М. Ермакова (1967); Т. А. Работнов (1978); А. А. Уранов (1960) и др.

А. А. Уранов (1960) показал, что жизненность является одной из важных характеристик видовой ценопопуляции, которая отражает не только отношение вида к среде, но и позволяет судить о воздействии данного вида на среду, его роли в жизни фитоценоза.

Ю. А. Злобин (1989а, б) жизненное состояние ценопопуляции называет виталитетом. Каждая особь относится к какому-то определенному классу виталитета. Их должно быть не меньше трех в зависимости от того, какой подход рассматривается в реализации данной задачи — одномерный, двумерный, многомерный.

Особи первого, второго и третьего класса виталитета выполняют в фитоценозах разные функции. Первые (самый высокий класс виталитета) из них составляют функциональную группу размножения, вторые — основную, формирующую биомассу популяции, третьи — группу резерва, обеспечивающую устойчивость популяции и контроль за размерами экологической ниши.

Особи высокой жизнеспособности, обеспечивающие воспроизводство, в наибольшей степени трансформируют среду обитания. Особи пониженного виталитета составляют резерв, который способен быстро заполнять появляющиеся при сукцессиях и нарушениях фитоценозов незанятые местообитания. Ослабленные особи пониженной жизнеспособности в наибольшей степени обогащены мутациями и наиболее перспективны для микроэволюции.

Ю. А. Злобин (1989а, б) выделяет три основных виталитетных типа ценопопуляции:

1. Процветающие ценопопуляции характеризуются преобладанием особей первого класса виталитета.
2. Равновесные ценопопуляции характеризуются равенством встречаемости особей первых трех классов виталитетности.
3. Депрессивные ценопопуляции характеризуются преобладанием особей третьего класса виталитета.

Наши исследования 2000 г. по оценке виталитета проводились по трем признакам: весу побега, весу соцветия, высоте побега. Для этого из массива исходных данных была составлена выборка из 200 цветущих генеративных побегов, взятых по 100 в двух фитоценозах: щучковый луг и щучковый «лужок» на опушке. В выборке хорошо прослеживается разнообразие структуры популяции. Построенные гистограммы по названным признакам также показывают, на наш взгляд, степень виталитета побегов, а опосредованно и ценопопуляции (рис. 16–18).

Для построения гистограмм побеги были расположены в порядке возрастания веса побега, высоты, веса соцветия. Упорядоченный ряд был расчленен на классы. В результате по весу побега на щучковом лугу (см. рис. 16) получилось 6 классов.

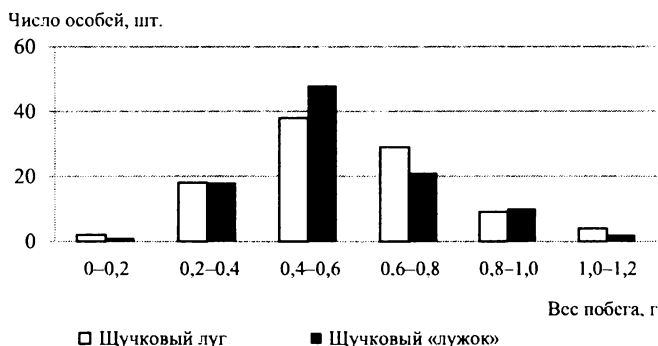


Рис. 16. Распределение особей *Deschampsia cespitosa* по весу побегов

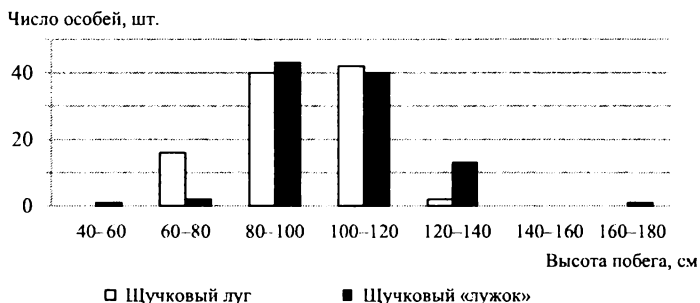


Рис. 17. Распределение особей *Deschampsia cespitosa* по высоте побегов

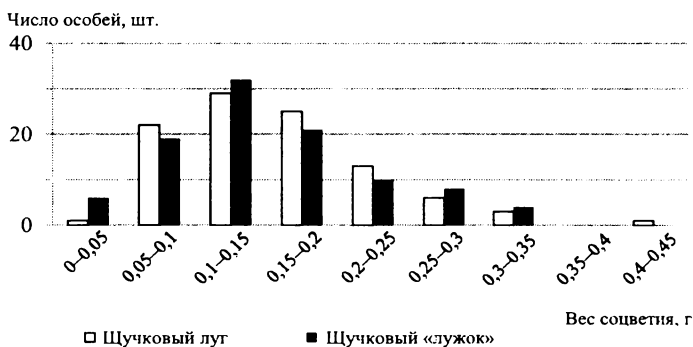


Рис. 18. Распределение особей *Deschampsia cespitosa* по весу соцветий

Анализируя гистограмму генеративных побегов *Deschampsia cespitosa* на щучковом лугу по весу побега, можно заключить, что эта ценопопуляция близка к равновесной, так как в ней преобладают побеги

третьего класса виталитета, на равновесность ценопопуляции указывает также и некоторая правосторонняя асимметрия. Гистограмма по высоте побега с двумя неравными подъемами также говорит о равновесности ценопопуляции, гистограмма по весу соцветий имеет левостороннюю асимметрию, так как доля побегов высокого виталитета здесь несколько снижена, что говорит о менее благоприятном для данной ценопопуляции экологическом режиме для формирования соцветий.

Гистограммы по весу и высоте побега на щучковом «лужке» имеют левостороннюю асимметрию, следовательно, здесь снижена доля побегов высокого виталитета, по весу соцветия гистограммы также имеют левостороннюю асимметрию. Можно предположить, что экологический режим данной ценопопуляции для развития вегетативной сферы менее благоприятен по сравнению со щучковым лугом, но способствует формированию репродуктивной сферы.

Проведенные исследования показали, что *Deschampsia cespitosa* на золоотвале ВТГРЭС проходит весь жизненный цикл развития, а изученные ценопопуляции имеют сложную возрастную и морфологическую структуру. Морфологическая структура выделенных вариантов в целом отражает хорошую жизнеспособность ценопопуляции вида.

Изученные ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* на щучковом лугу и щучковом «лужке» охарактеризованы нами как молодые популяции нормального типа (по Т. А. Работнову, 1978).

По степени виталитетности (по Ю. А. Злобину, 1989а, б) первая может быть отнесена к равновесной, а вторая — к равновесно-депрессивной.

Таким образом, *Deschampsia cespitosa* — доминант луговых ценозов лесной зоны — является перспективным, часто доминирующим видом при зарастании промышленных отвалов, в том числе и золоотвалов.

Возрастная структура и жизнеспособность ценопопуляций Deschampsia cespitosa (L.) Beauv на Галкинском отвале раморизированного известняка

Исследования ценопопуляций *Deschampsia cespitosa* проводились в июле 2004 г. на участках самозарастания Галкинского отвала № 3 (пос. Билимбай, Первоуральский р-н, Свердловская обл.). Отвал находится к юго-востоку от карьера, имеет овальную вытянутую (с запада на восток) форму и состоит из четырех ярусов. Площадь основания равна 6,8 га, верхнего (4-го) яруса — 4,04 га. Высота отвала около 45 м, отдельных ярусов колеблется от 5 до 20 м. Склоны ярусов крутые. Верхний (4-й) ярус отвала большей частью спланирован и представлен мелкоземом с полосами средней каменистости (суглинки, глины, отходы мелочи). По

краю уступа навалены кучи крупных глыб. Возраст участков верхнего яруса Галкинского отвала от 0 до 19 лет. Субстрат очень уплотненный.

Флористический состав травянистых видов на обследованных участках отвала представлен 11 семействами, 26 родами, 28 видами. Можно выделить три самых многочисленных семейства: Роасеае, представлено 7 родами, 6 видами, что составляет 10 % от общего числа видов; Asteraceae (7 родов, 6 видов — 10 %) и Fabaceae (3 рода, 3 вида — 2,5 %). Остальные семейства представлены одним-двумя родами и видами. Анализ биоэкологических характеристик видов показал, что 90 % являются многолетниками. У многих из них, наряду с семенным возобновлением, встречается и вегетативное, что обуславливает их высокую выживаемость. В видовом составе фитоценозов преобладают мезофиты (95 %), гемикриптофиты (80 %), по ландшафтно-зональной принадлежности — луговые виды (70 %), по способу распространения плодов и семян — анемохоры (55 %) и автохоры (40 %).

Сбор материала для изучения возрастной структуры ценопопуляций *Deschampsia cespitosa* проводился на спланированной поверхности верхнего уступа отвала (вариант I) и его склоновой поверхности (вариант II). Вариант I был разбит на три сектора. В ходе работы было заложено 7 ленточных трансект (6 — на горизонтальной и 1 — на склоновой поверхности отвала), 46 площадок по 0,25 м² (0,50 × 0,50 м²).

Геоботаническая характеристика вариантов. Вариант I: в секторе 1 субстрат представлен грядами с отдельными глыбами известняка. Растения произрастают преимущественно в понижениях рельефа (ОПП изменяется от края — 20 % к центру — 100 %). Зафиксировано 39 видов растений, из них 10 древесных. Преобладающие виды: *Deschampsia cespitosa* (sp), *Medicago lupulina* (sp), *Alnus incana* (sol), *Pinus sylvestris* (sol), *Betula pendula* и *B. pubescens* (sol), *Salix caprea* и *S. triandra* (sol).

Сектор 2: рельеф спланирован, присутствуют небольшие плавные понижения и возвышения. Почва переувлажнена. В центральной части сектора плотный покров из мха и куртинок *Deschampsia cespitosa* (ОПП изменяется от края — 20 % к центру — 100 %). Количество видов на данном участке — 41, из них 6 древесных. Преобладают следующие виды: *Melilotus albus* (cop₁ gr), *Salix triandra*, *Chamaenerion angustifolium*, *Artemisia vulgaris*, *Galium album*, *Medicago lupulina*, *Festuca pratensis*, *Poa palustris*, *Deschampsia cespitosa* (cop₁).

Сектор 3 отвала: субстрат представлен мелким щебнем (1 × 5 см) с глиной и выветренной породой. Встречаются пятна мха, прошлогодние сухие побеги полыни. ОПП изменяется от края — 20 % к центру — 60 %. Зафиксировано 48 видов растений, из них 7 древесных. Преобладают

виды: *Festuca rubra* (cop₂ gr), *Artemisia vulgaris* и *A. absinthium*, *Medicago lupulina*, *Poa palustris* (cop₁), *Salix caprea*, *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Chamaenerion angustifolium* (sp).

Вариант II: на склоновой поверхности субстрат более рыхлый. Преобладает *Deschampsia cespitosa* (sp gr–cop₁).

Ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* в условиях отвала имеют сложную пространственную, возрастную и морфологическую структуру.

Пространственная структура представляет собой один из способов достижения оптимальной плотности ценопопуляции в условиях ценотической конкуренции (Ценопопуляция растений..., 1988). Для характеристики плотности популяции нами использовался индекс плотности — число особей данного вида на 1 м². Исследования показали, что индекс плотности ценопопуляции в варианте I изменяется от 1,44 до 26,84, что свидетельствует о ее неравномерной горизонтальной структуре. На спланированной поверхности преобладает групповое размещение особей *Deschampsia cespitosa*. Более равномерное размещение особей оказалось на склоновой поверхности (вариант II, трансекта 7) (табл. 71).

Таблица 71

Горизонтальная структура ценопопуляций *Deschampsia cespitosa* на участках самозаращения Галкинского отвала № 3

№ трансекты	Встречаемость, %	Общее количество особей, шт.	Количество генеративных особей, шт.	Индекс плотности, шт./м ²
<i>Вариант I</i>				
1	64,29	50	13	14,28
2	57,14	79	10	22,56
3	57,14	94	14	26,84
4	50,00	38	10	10,84
5	28,57	10	6	2,84
6	21,43	5	4	1,44
<i>Среднее</i>	46,43	46	9,5	17,63
<i>Вариант II</i>				
7	100,00	78	1	22,28

Соотношение растений различных возрастных групп в популяции определяет ее способность к увеличению численности в данный момент времени и показывает, что следует ожидать в будущем (Комов, 1999).

Ценопопуляции *Deschampsia cespitosa* являются нормальными неполночленными. Возрастные спектры данных ценопопуляций двувёршинные с пиками на v и ss состоянии (рис. 19).

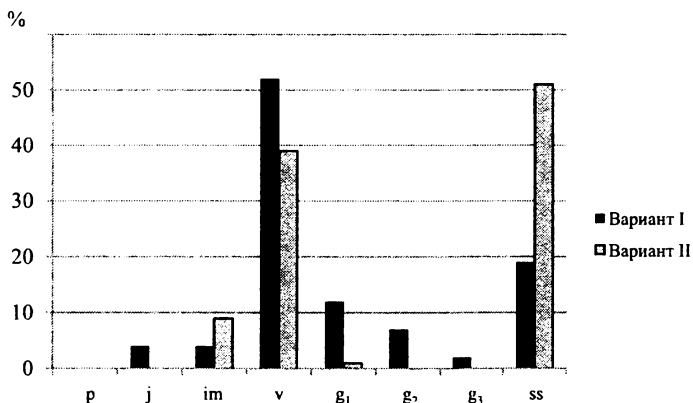


Рис. 19. Возрастные спектры ценопопуляций *Deschampsia cespitosa* на участках самозарастания Галкинского отвала № 3

Морфологический анализ показал, что более мощные особи *Deschampsia cespitosa* произрастают на склоновой поверхности отвала.

Характеристика ценопопуляций и особенности микоризообразования *Erigeron acris* L. на техногенных субстратах

Одной из важнейших проблем современности является проблема охраны окружающей среды. Промышленные отвалы занимают большие площади. Они оказывают серьезное воздействие на окружающую среду, вызывают вторичное загрязнение прилегающих к отвалам территорий, снижают продуктивность сельскохозяйственных культур и лесных насаждений. Восстановление растительности на территориях, где почвенный и растительный покровы уничтожены или сильно нарушены, идет крайне медленно. Одним из факторов адаптации растений к условиям среды является симбиоз высших растений с грибами — микориза. Наблюдения за динамикой микоризообразования у ряда дикорастущих и возделываемых растений убеждают в необходимости онтогенетического подхода к изучению консортивных связей, в том числе и микосимбиотрофных (Селиванов, 1981; Шкараба, 1983).

Здесь представлены результаты изучения изменчивости пространственной, морфологической и возрастной структур ценопопуляций *Erigeron acris*, произрастающих на разных техногенных субстратах с изучением особенностей микоризообразования *Erigeron acris* в зависимости от возрастного состояния особей и характера субстрата. Сравнивались две

ценопопуляции, произрастающие на участках самозарастания золоотвала СУГРЭС (ценопопуляция I) и на Галкинском отвале мраморизированного известняка (ценопопуляция II), расположенных на Урале в Свердловской области в таежной зоне (подзона южной тайги).

Краткая характеристика объектов приведена ранее (см. табл. 48).

На Галкинском отвале исследования проводились на верхнем ярусе, он большей частью спланирован и представлен мелкоземом с полосами средней каменистости (Ерошенко, Глазырина, 2004). Субстрат характеризуется слабой аэрацией из-за уплотнения тяжелой техникой при планировке. В грунтосмесях отвала выявлено очень низкое содержание N, K и P, реакция субстрата слабощелочная (pH 7,3–7,5).

Исследования выполнены в июне — июле 2007–2008 гг. Обследование территорий проводилось детально-маршрутным методом по общепринятым методикам (Корчагин, 1964; Понятовская, 1964). Для изучения популяций *Erigeron acris*, выявления их плотности, горизонтальной и возрастной структуры было заложено случайным образом 25 учетных площадок размером 50×50 см ($S_{\text{общ}} = 6,25 \text{ м}^2$) на СУГРЭС и 21 учетная площадка на Галкинском отвале ($S_{\text{общ}} = 5,25 \text{ м}^2$). Составлен общий список видового состава на заложенных площадках. Далее особи *Erigeron acris* с этих площадок были выкопаны. В камеральных условиях растения разбирались по возрастным состояниям, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались на весах SHIMADZU AUX \times 320 UniBlok с точностью до 0,0001. Также был определен индекс возрастности ценопопуляций (Δ) (Уранов, 1975). Проведен морфологический анализ вегетативных и генеративных особей для каждого возрастного состояния. Для анализа на СУГРЭС было взято 1 453 особи *Erigeron acris* (1 297 вегетативных и 156 генеративных), на Галкинском отвале — 151 особь (124 вегетативных и 27 генеративных). Собранный материал обработан стандартными методами математической статистики (Зайцев, 1973).

Для изучения микоризообразования *Erigeron acris* были откопаны корни 15 особей каждой возрастной группы в первой декаде июля. Фиксация и камеральная обработка корней, а также оценка показателей развития микориз проводились по методике, разработанной ботаниками Пермского педагогического института (Селиванов, 1981). Были изучены следующие показатели: частота встречаемости микоризной инфекции (F , %) — характеризует соотношение между огрибненными и неогрибненными участками в корневой системе у изучаемого растения; степень микоризной инфекции (D , баллы) — характеризует обилие микоризного гриба в корне; коэффициент интенсивности микоризной инфекции (C , %) — от-

ражает как распределение гриба в корне, так и обилие гриба в нем.

Erigeron acris — ксеромезофит, анемохор, двулетнее или дву-многолетнее (в зависимости от экологических условий) травянистое растение семейства Asteraceae, имеющее широкий ареал распространения, растущее на полях, залежах, пустырях, лугах, лесных полянах. Этот вид также характерен для ранних стадий формирования растительности на нарушенных промышленностью землях Урала.

Первая ценопопуляция *Erigeron acris* расположена на участке самозарастания золотвала СУГРЭС. Здесь формируется злаково-разнотравное растительное сообщество, общее проективное покрытие растительностью составляет 35 %. Видовой состав представлен 21 видом. Преобладают *Erigeron acris* (коэффициент встречаемости 100 %), *Calamagrostis epigeios* (76 %), *Poa palustris* L. (60 %). *Stellaria graminea* L. (60 %).

Таблица 72

Некоторые биометрические показатели ($X_{cp} \pm m$) разных возрастных состояний в ценопопуляциях *Erigeron acris*

Показатель	Возрастное состояние особей				
	p	j	im	y	g ₁
Ценопопуляция I					
Высота особи, см	0,69 ± 0,02	1,61 ± 0,03	2,88 ± 0,04	5,81 ± 0,12	15,77 ± 1,36
Масса надземной части растения, г	0,003 ± 0,0001	0,010 ± 0,0004	0,025 ± 0,0008	0,0908 ± 0,0005	0,32 ± 0,05
Масса подземной части растения, г	0,001 ± 0,0001	0,003 ± 0,0002	0,007 ± 0,0004	0,016 ± 0,0007	0,031 ± 0,004
Ценопопуляция II					
Высота особи, см	1,08 ± 0,16	1,77 ± 0,16	2,65 ± 0,15	4,65 ± 0,20	12,19 ± 1,81
Масса надземной части растения, г	0,005 ± 0,0005	0,015 ± 0,003	0,033 ± 0,003	0,097 ± 0,008	0,21 ± 0,03
Масса подземной части растения, г	0,001 ± 0,0002	0,005 ± 0,002	0,012 ± 0,002	0,028 ± 0,003	0,041 ± 0,005
					0,076 ± 0,014

У остальных видов коэффициент встречаемости значительно ниже. Вторая ценопопуляция *Erigeron acris* расположена на участке самозарастания Галкинского отвала мраморизированного известняка. ОПП растений в среднем составляет 15–20 %. Видовой состав растительного сообщества представлен 26 видами, из которых преобладают *Erigeron acris* (встречаемость 91 %), *Taraxacum officinale* (76 %), *Artemisia vulgaris* (71,4 %), *Agrostis gigantea* (61,9 %). Коэффициент общности Т. Сьеренсена двух растительных сообществ равен 0,52. Исследования показали, что на обоих объектах ценопопуляции *Erigeron acris* являются нормальными (способными к самоподдержанию), представленными преимущественно молодыми особями. На золоотвале СУГРЭС возрастной спектр ценопопуляции является двувершинным, с основным пиком на стадии проростков и вторым — на стадии имматурных особей, на Галкинском отвале — одновершинным, с пиком на стадии виргинильных особей (рис. 20).

При изучении возрастности популяций можно получить не только представление о динамике популяций, но использовать результат в направлении оценки степени влияния популяции на среду (Уранов, 1975). Воздействие популяций *Erigeron acris*, представленных преимущественно молодыми особями, на среду невелико, так как индекс возрастности данных ценопопуляций не превышает 0,5 (на СУГРЭС $\Delta = 0,0975$; на Галкинском отвале $\Delta = 0,127$).

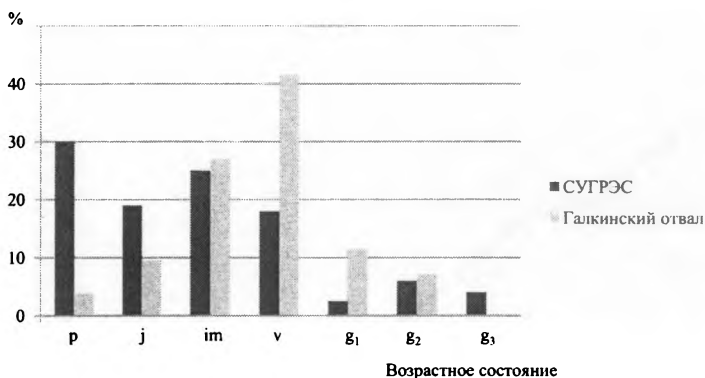


Рис. 20. Возрастной спектр ценопопуляций *Erigeron acris* на разных субстратах

При анализе биометрических показателей особей было выявлено, что в обеих ценопопуляциях *Erigeron acris* во всех возрастных состояниях идет нарастание как надземной, так и подземной массы, средние значения массы растений в ценопопуляции II во всех возрастных со-

стояниях, кроме молодых генеративных, больше, чем средние значения массы растений в ценопопуляции I (табл. 72). У особей прегенеративных состояний самыми вариабельными признаками в обеих ценопопуляциях *Erigeron acris* являются массы надземной (коэффициент вариации C_v изменяется от 40,0 до 99 %) и подземной частей растений (C_v изменяется от 62,1 до 140 %).

Соотношение надземной и подземной массы растения зависит от его индивидуальных особенностей и от условий среды (Качинский, 1925). Отношение корень — побег меняется в ходе развития, так как у большинства растений побег растет значительно быстрее, чем корень (Станков, 1964). Нами было прослежено изменение соотношения надземной и подземной масс особей *Erigeron acris* в разных онтогенетических состояниях (рис. 21). В ценопопуляции I в процессе онтогенеза наблюдается постепенное замедление нарастания корней при интенсификации нарастания надземной массы. В ценопопуляции II на начальных этапах онтогенеза наблюдается противоположная тенденция — рост корней превышает рост надземной массы, а начиная с имматурного возрастного состояния нарастание надземной массы превышает рост корней. Известно, что относительно более интенсивное нарастание корневой системы по сравнению с надземными органами наблюдается при недостатке в почве питательных веществ (Колосов, 1962).

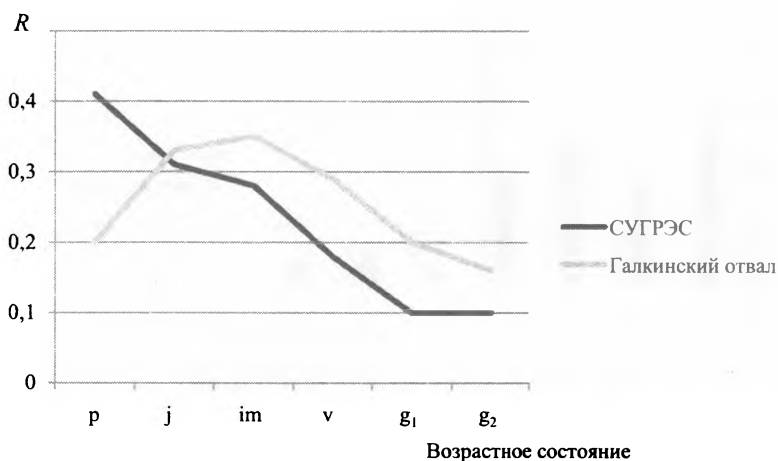


Рис. 21. Средние показатели отношения (R) подземной к надземной массе *Erigeron acris*

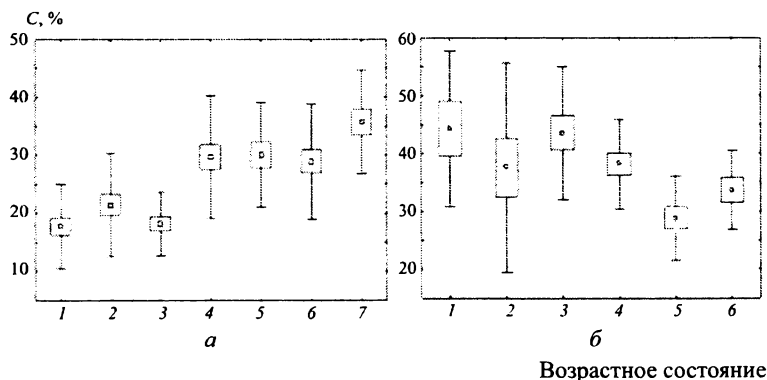
Адаптация растений к различным условиям произрастания накладывает значительный отпечаток на тип строения мезофилла листа. Исследование поперечных срезов листьев генеративных особей *Erigeron acris* в обеих ценопопуляциях показало, что при одинаковой толщине листьев тип строения мезофилла различается. В ценопопуляции I — дорзовентральный тип строения, характерный для умеренно влажных и умеренно теплых местообитаний, в ценопопуляции II преобладает изолатеральный (или изопалисадный) тип строения, характерный для видов, произрастающих в условиях сильной освещенности, испытывающих недостаток водоснабжения или действие высоких температур воздуха и почвы (Дьяченко, 1978).

Изучение микотрофности *Erigeron acris* показало, что растения всех возрастных состояний оказались микотрофными. В симбиотические отношения с грибами *Erigeron acris* вступает на самых ранних этапах развития. Уже на стадии проростков встречается эндомикориза, представленная в основном гифами гриба и скоплениями везикул. На ранних этапах развития растений микориза сосредоточена в главном корне. При появлении боковых корней микоризная инфекция перемещается в них. Начиная с виргинильного возрастного состояния микориза встречается в основном в боковых корнях. В ценопопуляции I в стадии проростков огрибленными оказываются 68,9 % корней, с увеличением возраста растений происходит постепенное распространение микоризы в корне (до 93,2 % у особей в генеративном состоянии [g_3]). В ценопопуляции II гриб в корнях у особей всех возрастных состояний распределен более равномерно, значения частоты встречаемости микоризной инфекции (F) варьируют от 92,6 % у проростков до 97,5 % у генеративных особей (g_3) (табл. 73). По показателям степени микотрофности все особи в обеих ценопопуляциях относятся к слабомикотрофным (Селиванов, Шавкунова, 1973). Исследования показали, что у особей разных возрастных состояний степень и интенсивность микоризной инфекции различаются, в ценопопуляции I степень микотрофности особей в прегенеративном состоянии меньше, чем в ценопопуляции II (см. табл. 73; рис. 22).

Известно, что микориза участвует в поглощении растениями труднодоступного Р. Было установлено, что в листьях *Erigeron acris*, произрастающего на Галкинском отвале мраморизированного известняка, Р содержится в 1,6 раза больше (0,42 % от сухой массы), чем на золоотвале СУГРЭС (0,26 % от сухой массы), что связано, по нашему мнению, с разной интенсивностью микоризообразования.

**Показатели микотрофности разных возрастных состояний
в ценопопуляциях *Erigeron acris***

Показатель	Возрастное состояние особей						
	p	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃
<i>Ценопопуляция I</i>							
Частота встречаемости микоризы (F), %	68,9	77,4	75,3	82,8	90,2	87,2	93,2
Степень микотрофности растений (D), баллы	0,9	1,1	0,9	1,5	1,5	1,4	1,8
<i>Ценопопуляция II</i>							
Частота встречаемости микоризы (F), %	92,7	87,7	96,8	97,4	94,8	97,5	–
Степень микотрофности растений (D), баллы	2,12	1,9	2,2	1,9	1,5	1,7	–



□ среднее, ± стандартная ошибка среднего, ± стандартное отклонение

Рис. 22. Статистическая обработка зависимости микоризной инфекции от возрастного состояния на золоотвале СУПЭС (а) и на Галкинском отвале (б):

1 – p, 2 – j, 3 – im, 4 – v, 5 – g₁, 6 – g₂, 7 – g₃

Таким образом, интенсивность микоризообразования *Erigeron acris* в исследованных ценопопуляциях меняется в процессе онтогенеза и зависит от свойств субстрата. В условиях техногенных экотопов микориза играет важную адаптивную роль, особенно на ранних стадиях онтогенеза.

2.4. Структурно-динамическая организация лесных фитоценозов

В последние годы все чаще поднимаются и обсуждаются вопросы, связанные с представлением о структурно-системной организации живого покрова Земли, выявляются общие законы развития биологических систем и особенности отдельных структурных уровней (Мазинг, 1970). Одним из уровней организации растительного покрова являются фитоценозы. Изучение структуры и динамики фитоценозов, формирующихся на нарушенных промышленностью землях, представляет в настоящее время большой интерес в связи с необходимостью определения темпов восстановления биологического разнообразия на этих территориях. Разрабатывая подходы к изучению структурной организации фитоценозов, В. В. Мазинг (1973) считает целесообразным проводить изучение состава (видовой, популяционной структуры и т. д.), взаимного расположения входящих в состав элементов (пространственная и морфологическая структура) и различных взаимоотношений между компонентами (функциональная структура), и все это в динамике, в изменении как в пространстве, так и во времени.

Исследования проводились на землях, нарушенных предприятиями горнодобывающей промышленности, расположенных на Среднем Урале в пределах Свердловской области, где площади нарушенных промышленностью земель занимают свыше 60 тыс. га и расположены преимущественно в черте населенных пунктов или в непосредственной близости от них.

Нами были изучены начальные стадии формирования фитоценозов на разновозрастных участках отвалов Сухореченского доломитового, Галкинского известнякового, Евстунинского железорудного месторождений (таежная зона, подзона южной тайги), которые мы рассматриваем как разные временные стадии развития биогеоценозов. Были проведены мониторинговые исследования фитоценозов на Южном Веселовском отвале Веселовского бурогоугольного месторождения (таежная зона, подзона средней тайги).

Для Среднего Урала типичны отвалы, сложенные скальными горными породами, образующими крупнокаменистые и глыбистые нагромождения. Подобные грунты чрезвычайно медленно поддаются выветриванию, на них не задерживается влага осадков, по особенностям освоения их растениями и формирования почв они напоминают естественные крупноглыбистые россыпи горного Урала. Фитоценозы на таких субстратах формируются чрезвычайно медленно, малопродуктивны, имеют

обедненный видовой состав, упрощенную структуру, находятся в прямой зависимости от свойств субстрата (Чибрик, Елькин, 1991).

Веселовское месторождение бурого угля располагается в 6 км к югу от г. Карпинска (Свердловская обл.). В настоящий период месторождение отработано, территория разреза затоплена. Отсыпка пустых пород проводилась железнодорожным транспортом на Северных и Южном отвалах, расположенных в 3,5–4 км севернее и юго-западнее разреза.

Южный Веселовский отвал занимает площадь 154 га, вытянут с юго-востока на северо-запад. Отсыпка его производилась с 1958 по 1966 г. железнодорожным транспортом. По положению к естественному рельефу: отвал нагорный. По внешнему виду отвал представляет собой более или менее выровненную поверхность с грядово-бугристым рельефом в виде длинновытянутых узких повышений и понижений. Территория первого года отсыпки (1958) имеет высоту 2 м, поверхность последнего года отсыпки (1966) имеет высоту 26 м, крутизна склонов составляет 30–37°.

Породный состав субстрата отвала довольно однороден. Основную массу вскрышных пород составляют слабо сцементированные выветрившиеся к настоящему времени песчаники, а также аргиллиты, реже глины. На поверхности отвала встречаются ожелезненные пески желтого цвета.

По агрохимическому составу грунты содержат среднее количество легко усвояемого растениями гидролизуемого N, бедны обменным K, средние и хорошо обеспечены подвижными формами P, реакция среды – от сильноокислой до слабощелочной (Махонина, Чибрик, 1978).

Отвал окружен лесом: с северо-востока – березово-осиновым, с северо-запада и запада – елово-пихтовым, с южной стороны – сосновым с примесью *Betula* sp., *Pinus sibirica*, *Abies sibirica*. Высокие откосы отвала практически не зарастают.

На Южном Веселовском отвале были проведены полосные механизированные посадки двулетних саженцев *Pinus sylvestris*, возраст которых к моменту обследования составляет 30–40 лет.

Результаты изучения начальных этапов формирования почвенного и растительного покровов на отвале, микосимбиотрофизма произрастающих видов растений, химического состава растений опубликованы в работах А. И. Лукьянца (1974), Г. И. Махониной (1985), Г. И. Махониной, Т. С. Чибрик (1978), Т. С. Чибрик (1979), Т. С. Чибрик и др. (1980).

К настоящему времени на Южном Веселовском отвале формируется смешанный лес с преобладанием *Pinus sylvestris* с примесью *Betula pendula* и *B. pubescens* и *Populus tremula*. В подлеске встречаются *Sorbus sibirica* Hedl., *Picea obovata*, подрост *Pinus sibirica* и *Larix sibirica*.

Наши исследования проводились на четырех выделах, расположенных поперек отвала от границы с естественным рельефом до откоса перпендикулярно грядам. В результате проведенных исследований были выявлены существенные различия по геоботаническим показателям сформированных фитоценозов (табл. 74), а также по пространственной и морфологической структуре высаженных культур *Pinus sylvestris* на этих участках.

Выдел 1 — отсыпка 1958–1960 гг. На выделе формируется лесной фитоценоз с высокой сомкнутостью крон, которая составляет 85–92 %. В древесном ярусе преобладают *Pinus sylvestris*, встречаются *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Populus tremula*, формируется подлесок с участием 4 видов *Salix*, а также *Rosa acicularis*, *Sorbus sibirica*, *Lonicera xylosteum* L., *Chamaecytisus ruthenicus* и др. Общее проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет около 30 %, местами варьирует от 15 до 50 %. На выделе из кустарничков пятнами встречаются *Vaccinium vitis-idaea* L. (sp gr), *Vaccinium myrtillus* L., произрастает 7 видов полукустарничков, из них наиболее обильны *Orthilia secunda* (sp gr), *Pyrola rotundifolia* (sol gr–sp), из травянистых преобладают *Fragaria vesca* (sp gr), *Amorpha repens* (sp gr), *Lathyrus sylvestris* L. (sol–sp), *Trifolium pratense* (sp), *Calamagrostis epigeios* (sol gr–sp), *C. arundinacea* (L.) Roth (sp). Всего выявлен 81 вид.

Выдел 2 — отсыпка 1962–1963 гг. Формируется лесной фитоценоз с преобладанием *Pinus sylvestris*, встречаются *Pinus sibirica*, *Picea obovata*, *Alnus incana*, *Populus tremula*, сомкнутость — 74 %, варьирует от 50 до 89 %. Кустарники представлены *Rosa acicularis*, *Chamaecytisus ruthenicus*. Общее проективное покрытие растительностью 15–20 %.

Аспект создают *Orthilia secunda* (sp–cop₁), *Vaccinium vitis-idaea* (sp–cop₁), *Fragaria vesca* (sp gr–cop₁), *Rubus arcticus* L. (sp gr), *Chamaenerion angustifolium* (sp), *Hieracium caespitosum* Dumort. (sp–cop₁). Всего зафиксировано 75 видов.

Выдел 3 — отсыпка 1965–1966 гг. Формируется лесной фитоценоз с преобладанием *Pinus sylvestris*, с примесью *Picea obovata*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix* sp. Древесный полог не сомкнут. Общее проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет 7–20 %, преобладают *Orthilia secunda* (sp), *Rubus saxatilis* (sp gr), *Trifolium pratense* (sp–cop₁), *Vicia sylvatica* (sp–cop₁), *Chamaenerion angustifolium* (sp). Всего выявлено 58 видов.

Выдел 4 представляет собой участок вторично нарушенной территории, расположенной вдоль самого высокого участка откоса отвала. Возраст его составляет примерно 40 лет. Древесные виды представлены

Геоботаническая характеристика насаждений *Pinus sylvestris* на Южном Веселовском отвале

Показатель	Участок (количество учетных площадок)							
	I (5)		II (5)		III (5)		IV (3)	
	X _{ср}	lim	X _{ср}	lim	X _{ср}	lim	X _{ср}	lim
На учетных площадках площадью 100 м ²								
Сомкнутость древесного яруса, %	86	85–92	74	50–89	–	–	–	–
ОПП травянисто-кустарничкового яруса, %	30	15–50	22	8–40	13,6	6–20	1	–
ОПП мохово-лишайникового яруса, %	25	10–30	30	23–37	25	23–30	32	27–35
Количество видов, шт./100 м ²	33,4	3039	25,6	20–32	18,2	13–21	9,3	8–11
На площадках по Раркингу площадью 0,25 м ²								
СПП травянисто-кустарничковых видов, %	22,4	4–55	22,6	6–47	23	1–71	2,6	0–10
СПП мохово-лишайникового яруса, %	21,2	0–80	29,2	1–90	26,1	2–100	30,6	6–100
Количество видов, шт./0,25 м ²	5,2	1–10	4,7	2–10	3,6	1–10	1,6	0–3
Коэффициент рассеяния	4,7	4,0–6,8	4,3	3,6–5,1	3,7	3,3–4,5	4,8	3,8–5,9
Коэффициент пестроты сложения	20	17–25	24	20–28	27	22–30	22	17–27
Общее количество видов на участке	81		75		58		44	
В том числе:								
дресневых	8		8		7		7	
кустарников	10		9		5		4	
кустарничков	2		2		1		0	
полукустарничков	7		4		2		1	
травянистых	54		52		43		32	

единичными особями *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Populus tremula*. Сомкнутость крон отсутствует. Общее проективное покрытие травянистой растительностью составляет 1 %. Единично встречаются *Amoria repens* (sol), *Trifolium pratense* (sol), *Vaccinium vitis-idaea* (sol), *Chamaenerion angustifolium* (sol). Всего зафиксировано 44 вида. Методом главных компонент выявлено соотношение изучаемых растительных сообществ по показателю Пирсона с учетом видового состава и обилия видов (рис. 23).

Изученные выделы отличаются по видовому составу, наибольшее значение коэффициента видового сходства Жаккара отмечено между первым и вторым выделами, расположенными в начале и центральной части отвала, а наименьшее — между краевыми выделами (табл. 75).

Нами было проведено изучение вертикальной и горизонтальной структуры древесного яруса на Южном Веселовском отвале, а также морфометрических и санитарных показателей древостоев и механизированных посадок *Pinus sylvestris*.

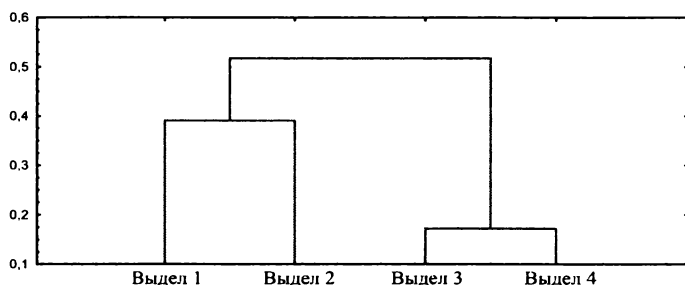


Рис. 23. Дендрограмма соотношения растительных сообществ на выделах Южного Веселовского отвала по коэффициенту Пирсона с учетом обилия видов

Таблица 75

**Матрица сходства флористического состава
по коэффициенту Жаккара, %**

Выдел	1	2	3	4
1		77,3	54,4	32,9
2	—		58,3	38,4
3	—	—		52,2
4	—	—	—	

На каждом из четырех выделов были заложены пробные площади (ПП) размерами 10 × 10 м. На выделе 1 было заложено 5 ПП, из них 2 — в понижении рельефа, а 3 — на ровной поверхности; на выделе 2 было заложено 5 ПП, из них 2 — на возвышениях, а 3 — в понижении; выдел 3 был представлен посадками и на нем была заложена только одна ПП в глубоком понижении (около 3 м), где посадки не проводились; на выделе 4 было заложено 3 ПП на ровной поверхности у самого края борта отвала. На каждой ПП проводились пересчет древостоя, измерение морфометрических показателей (высота, диаметр на высоте 1,3 м) (Колосова, Мурахтанов, 1960), подсчитывался возраст хвойных пород, отмечалось санитарное состояние древостоя, были сделаны фото сомкнутости крон древостоя с высоты 2 м. Также на выделах 2 и 3 был осуществлен учет посадок *Pinus sylvestris*. Промеры производились по диагонали исследуемой площади по рядам. Описывались 10 деревьев в ряду, после чего осуществлялся переход в следующий ряд. При этом измерялись высота и диаметр древостоя на высоте 1,3 м, отмечалось санитарное состояние посадок, а также количество выпавших деревьев. На выделе 3 было учтено 200, а на выделе 2 — 100 особей *Pinus sylvestris*.

Проведенные исследования показали, что на Южном Веселовском отвале Карпинско-Волчанского буроугольного бассейна к 30–40-летнему возрасту развивается смешанный лес с преобладанием *Pinus sylvestris*, а также, в зависимости от участка — *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Populus tremula*. Развитие лесного фитоценоза сильно отличается на разных участках отвала как по морфометрическим, так и по структурным характеристикам.

Морфометрические характеристики древостоев Южного Веселовского отвала приведены в табл. 76. Согласно приведенным данным можно сказать, что в направлении от нижнего края отвала (выдел 1) к верхнему (выдел 2) происходит снижение средней высоты древостоя. Исключение здесь составляют лиственные породы, такие как *Salix caprea*, *S. myrsinifolia*, *S. pentandra*, *S. phylicifolia* и *Populus tremula*, у которых данный показатель возрастает с 10,08 и 11,66 м на выделе 1 до 10,69 и 12,61 м на выделе 2 соответственно. На выделах 3 и 4 данный показатель у этих пород резко падает, а *Populus tremula* вообще выпадает из состава древостоя. Та же картина наблюдается и в отношении толщины ствола древостоя, которая, за исключением *Salix* sp. и *Populus tremula*, снижается в направлении от нижней части отвала к верхней у всех пород.

Максимальные морфометрические показатели из хвойных пород имеют *Pinus sylvestris* (диаметр — 28 см, высота — 44,86 м, возраст —

Морфометрические и санитарные показатели древостоев Южного Веселовского отвала

Вид	Диаметр, см			Высота, м			Возраст, лет			Усохшие, шт.	Отпад, %	Доля в древостое, %
	min	med	max	min	med	max	min	med	max			
Выдел 1												
<i>Pinus sylvestris</i>	1,00	11,64	28,00	1,90	17,39	44,86	20	33	43	7	—	56,07
<i>Picea obovata</i>	<1,00	2,83	7,00	0,23	1,98	8,83	9	20	32	0	—	7,94
<i>Larix sibirica</i>	1,00	3,50	11,00	1,80	7,83	24,77	20	26	30	0	—	1,87
<i>Betula</i> sp.	<1,00	3,99	15,00	0,33	9,62	27,65	—	—	—	10	—	23,36
<i>Populus tremula</i>	1,00	3,95	18,00	2,47	11,66	29,20	—	—	—	4	—	10,28
<i>Salix</i> sp.	—	3,00	—	—	10,08	—	—	—	—	1	—	0,47
Выдел 2												
<i>Pinus sylvestris</i>	<1,00	6,01	23,00	0,43	12,24	44,07	16	30	39	26	—	67,46
<i>Picea obovata</i>	<1,00	2,50	4,00	0,17	0,69	6,70	5	15	36	0	—	14,68
<i>Betula</i> sp.	<1,00	3,40	15,00	0,9	8,83	24,77	—	—	—	0	—	9,13
<i>Populus tremula</i>	<1,00	5,67	18,00	0,64	12,81	27,65	—	—	—	2	—	5,16
<i>Salix</i> sp.	1,00	4,14	8,00	4,25	10,69	17,77	—	—	—	1	—	2,78
<i>Sorbus aucuparia</i>	<1,00	<1,00	<1,00	0,80	0,83	0,85	—	—	—	0	—	0,79
<i>Pinus sylvestris</i> *	<1,00	2,57	13,00	0,85	6,23	19,71	27	34	36	3	26,47	—
Выдел 3												
<i>Pinus sylvestris</i>	<1,00	5,83	15,00	1,60	7,40	16,51	17	28	31	1	—	39,39
<i>Picea obovata</i>	<1,00	<1,00	<1,00	0,13	1,45	9,00	9	13	17	0	—	27,27
<i>Larix sibirica</i>	—	<1,00	—	—	1,26	—	—	—	—	0	—	3,03
<i>Betula</i> sp.	<1,00	8,00	8,00	0,56	5,95	11,35	—	—	—	0	—	6,06
<i>Salix</i> sp.	<1,00	1,25	2,00	0,70	1,78	3,10	—	—	—	0	—	24,24
<i>Pinus sylvestris</i> *	<1,00	3,52	13,00	0,70	6,82	20,48	29	33	35	4	7,83	—
Выдел 4												
<i>Pinus sylvestris</i>	<1,00	1,78	9,00	0,59	1,76	6,70	15	29	38	3	—	83,90
<i>Picea obovata</i>	<1,00	<1,00	<1,00	0,09	0,21	0,35	8	14	22	0	—	5,08
<i>Betula</i> sp.	<1,00	<1,00	<1,00	0,16	0,62	1,24	—	—	—	0	—	7,63
<i>Salix</i> sp.	<1,00	4,00	6,00	0,62	2,09	4,25	—	—	—	0	—	3,39

* Посадки *Pinus sylvestris*.

43 года), а из лиственных — *Populus tremula* (диаметр — 18 см, высота — 29,2 м) (выдел 1).

Наиболее угнетенными естественными насаждениями являются древостой на выделе 4. Так, максимальной высоты здесь достигает *Pinus sylvestris* (6,7 м), а средние показатели древостоя совсем низкие (для *Pinus sylvestris* средняя высота — 1,76 м, средний диаметр — 1,78 см).

При этом следует отметить, что древостой на всей территории отвала является практически одновозрастным.

Рассматривая санитарное состояние древостоя, следует отметить, что при движении в указанном направлении количество отмерших особей возрастает к центру отвала, а затем снижается в направлении борта. Скорее всего, это обусловлено тем, что в центре отвала происходит естественное изреживание сосны.

Изменение вертикальной структуры древостоя можно охарактеризовать следующим образом (табл. 77). На выделах 1 и 2 четко различаются 4 высотных яруса. Нижний — всходы различных пород и подрост. Последний представлен в основном *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Populus tremula*. На некоторых ПП выдела 2 часто встречается подрост *Sorbus aucuparia*, а также на ПП 4 отмечен подрост *Pinus sibirica*. Далее, более высокие ярусы состоят из пород *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Populus tremula*. Причем *Betula* больше представлена в средних ярусах, а в 4-м ярусе начинает доминировать *Populus tremula*. На некоторых участках (выдел 1, ПП 2 и ПП 3) наблюдается тенденция к формированию чистых сосняков.

Далее идет упрощение вертикальной структуры, которая на выделе 3 сокращается до трех, а на выделе 4 — до двух ярусов. Сокращается доля лиственных пород. Основную часть древостоя составляет *Pinus sylvestris* с примесью *Picea obovata* в нижних ярусах. Из лиственных пород большую часть составляют *Salix* sp., единично присутствуют *Betula* sp.

Анализируя горизонтальную структуру, мы наблюдаем те же закономерности. При движении по выделенному направлению отмечается снижение плотности древостоя, а также изменение ее структуры за счет снижения доли лиственных пород и увеличения долевого участия хвойных пород в составе древостоя. Также снижается и сомкнутость крон. Изменение полноты древостоя можно проиллюстрировать на основании изменения средних диаметров древостоя. Для хвойных пород здесь наблюдается постепенное снижение данного показателя, а для лиственных — увеличение среднего диаметра к центру отвала, а затем также снижение этой величины при приближении к борту отвала.

Показатели вертикальной и горизонтальной структуры
древостоев Южного Веселовского отвала

№ пробной площади	Форма микро-рельефа	Характеристика выдела	Входы	1-й ярус	2-й ярус	3-й ярус	4-й ярус	Соотношение пород, %	Густота древостоя, шт./100 м²	Сред. диаметр древостоя, см	Сомкнутость крон, %
Выдел 1											
1	Понижение	Высоты ярусов, м	0-5		5-12,5	12,5-25	25-29,12	Хв.	Лст.	Хв.	Лст.
		Породы	22Е 2К 1П 7Б 100с 8И 14Р6	10Е 2Л 7Б 10с	13С 22Б 1И 110с	21С 8Б 20с	3С 20с	48,5	51,4	10,28	2,93
1	Ровная поверхность	Высоты ярусов, м	0-5		5-12,5	12,5-20	20-23,11	Нс опр.	Нс опр.	24	Нс учт.
		Породы	9Е 23И 1Л 1110с 4Р6	7С 1Л	8С	6С	3С				
2	Понижение	Высоты ярусов, м	0-5		5-15	15-25	25-37,74	41,7	58,3	10	14
		Породы	4С 4Е 16К 3Б 110с 6Р6	1С 1Е	2С 1Е 3Б 30с	4С 5Б 20с	2С 1Б 10с				
										10,82	8,00
≈ 85											

№ пробной площади	Форма микро-рельефа	Характеристика выдела	Входы	1-й ярус	2-й ярус	3-й ярус	4-й ярус	Соотношение пород, %		Густота древостоя, шт./100 м²	Сред. диаметр дерева, см	Сомкнутость крон, %		
2	Ровная поверхность	Высоты ярусов, м	0-5		5-10	10-20	20-25,22	86,2	13,8	25	4	3,50	1,50	≈ 85
		Породы	13Е 19 К 1Л 47Б 16Ос 25И	3Е 4Б	3С 1Е	14С	4С							
		Высоты ярусов, м	0-15		15-25	25-35	35-44,86							
3	Ровная поверхность	Породы	2Е 16Р6	1Е 1С	17С 1Л	7С	4С	100	0	32	0	15,19	0,00	92
		Породы	2Е 16Р6	1Е 1С	17С 1Л	7С	4С							
Итого (среднее значение)														
Выдел 2														
1	Понижение	Высоты ярусов, м	0-5		5-15	15-25	25-44,07	86,8	13,2	46	7	6,33	8,50	82
		Породы	2Е 5Ос 1И 4Р6	3С 7Е	18С 1Б 2И	13С 4Б	5С 10с							
		Высоты ярусов, м	0-6		6-10	10-15	15-27,65							
2	Повышение	Породы	3Е 4К 1Л 50Б 39Ос 3И 3Р6	19С 10Е 5Б 10с	6С 4Б	5С 1Б 10с 1И	5С	78,6	21,4	44	12	3,78	1,80	50
		Породы	3Е 4К 1Л 50Б 39Ос 3И 3Р6	19С 10Е 5Б 10с	6С 4Б	5С 1Б 10с 1И	5С							

№ пробной площадки	Форма микро-рельефа	Характеристика выдела	Входы		1-й ярус	2-й ярус	3-й ярус	4-й ярус	Соотношение пород, %		Густота древостоя, шт./100 м²	Сред. диаметр древостоя, см	Сомкнутость крон, %								
			Высоты ярусов, м	Породы					80,0	20,0											
3	Повышение	Высоты ярусов, м	0-5		13С 1Е 2П 3Б 12И	5С 1Е 20с	10-13,61	-	80,0	20,0	24	6	3,00	1,83	71						
		Породы	17С 5Е 1К 12Л 34Б 48Ос 12И																		
4	Понижение	Высоты ярусов, м	0-5		5С 11Е 3К 1Б 2И 8Рб	18С 1Б 40с 1И	15-26	26-29,87	85,1	14,9	57	10	7,64	4,36	89						
		Породы	1К 3Л 9Ос 10И 8Рб																		
5	Повышение	Высоты ярусов, м	0-5		8С 7Е 1Б 2Рб	15С	15-25	25-33,82	88,6	11,4	39	5	7,62	5,00	63						
		Породы	2Е 6К 5Л 11Рб																		
Итого (среднее значение)															84,0	16,0	42,0	8,0	5,67	4,30	74
Выдел 3																					
	Понижение	Высоты ярусов, м	0-4		2С 8Е 1Л 1Б 8И 5И	10С 1Е	10-16,51	-	71,0	29,0	22	9	5,83	2,60	Полог не сомкнут						
		Породы	3Е 1К 1Б 41Ос 5И																		
Итого (среднее значение)															71,0	29,0	22,0	9,0	5,83	2,60	Полог не сомкнут

№ пробной площадки	Форма микро-рельефа	Характеристика выдела	Всходы	1-й ярус	2-й ярус	3-й ярус	4-й ярус	Соотношение пород, %	Густота древостоя, шт./100 м²	Сред. диаметр древостоя, см	Сомкнутость крон, %		
Выдел 4													
1	Ровная поверхность	Высоты ярусов, м	0-2		2-2,8	-	-	95,0	38	2	1,70	2,00	
		Породы	33С 1Е 1Л 7Б 7Ос 3И	30С 1Е 1Б	7С 1И	-	-						
2	Ровная поверхность	Высоты ярусов, м	0-4		4-6,7			88,5	46	6	2,00	6,00	
		Породы	43С 2К 1Л 3Б 9Ос 4И 1РБ	40С 3Е 3Б 2И	4С 1И	-	-						
3	Ровная поверхность	Высоты ярусов, м	0-2		2-3,2	-	-	83,3	20	4	1,31	0,00	
		Породы	22С 1Е 4К 7Б 3Ос 1И	15С 2Е 4Б	3С	-	-						
Итого (среднее значение)								89,6	34,7	4,0	1,67	2,67	Полог не сомкнут

Примечание: С *Pinus sylvestris*; Е *Picea obovata*; К *Pinus sibirica*; Л *Larix sibirica*; Б *Betula sp.*; Ос *Populus tremula*;
И *Salix sp.*; РБ *Sorbus aucuparia*; Хв. хвойные; Лет. лиственные.

Отдельно следует отметить посадки *Pinus sylvestris*, по которым был произведен учет. На основании данных табл. 77 можно сказать, что морфометрические показатели посадок гораздо ниже, чем у естественных насаждений. Так, средние показатели древостоя в посадках на выделе 2 примерно в 2 раза ниже, чем в естественных насаждениях этого выдела. При этом следует отметить высокий уровень отпавших особей *Pinus sylvestris* — 26,47 %. Посадки на выделе 3 имеют несколько лучшие показатели по средней высоте, которая не намного ниже, чем у естественных насаждений, а также достаточно низкую долю отпавших деревьев — 7,83 %, но средний диаметр также ниже примерно в 2 раза. Мы предполагаем, что такое неудовлетворительное состояние древостоев в посадках связано с неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями, а также, как предполагалось ранее (Чибрик, 2002), с отсутствием лесоустроительных мероприятий, в частности с отсутствием рубок ухода, вследствие чего идет сильное загущение и взаимное угнетение особей.

Таким образом, на территории Южного Веселовского отвала наблюдается постепенное формирование естественного леса, представляющего собой в зависимости от экотопа или смешанный лес из *Pinus sylvestris*, *Betula* sp. и *Populus tremula*, или чистый сосняк с примесью *Picea obovata*. Развитие древостоя на разных участках отвала сильно отличается. Наблюдается сильное угнетение древесной растительности по мере приближения к борту отвала, проявляющееся в сильном снижении морфометрических показателей, что отражается на структуре формирующихся древостоев: выделяются два, максимум три яруса, а также отсутствует сомкнутость древесного полога.

Отмечается сильное угнетение посадок на разных участках отвала, проявляющееся в снижении морфометрических показателей практически в 2 раза по сравнению с естественными насаждениями.

Нами было проведено изучение пространственной, возрастной и морфологической структур ценопопуляций лесного вида *Orthilia secunda*, произрастающих на разных участках Южного Веселовского отвала. *Orthilia secunda* произрастает на территории отвала неравномерно (коэффициенты встречаемости изменяются от 4,0 до 30,7 %), с небольшим проективным покрытием.

При ценопопуляционных исследованиях за счетную единицу для данного вида мы принимали особь вегетативного происхождения — рамету. Возрастной состав представляет собой один из существенных признаков популяций. От этой стороны структурной организации зависит способность популяционной системы к самоподдержанию и ее устойчивость (Ценопопуляции растений..., 1988).

Исследования показали, что ценопопуляции *Orthilia secunda* являются нормальными, неполночленными (рис. 24). Возрастные спектры — односторонние, левосторонние с максимумом в виргинильном возрастном состоянии, что можно объяснить преобладанием вегетативного способа возобновления популяций.

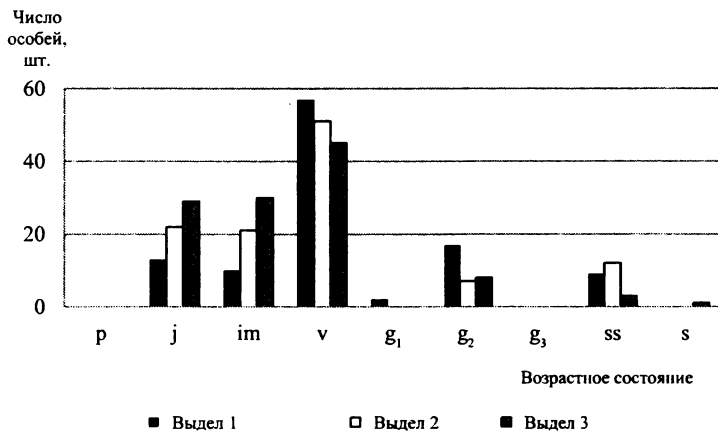


Рис. 24. Возрастные спектры ценопопуляций *Orthilia secunda* на Южном Веселовском отвале

Анализ индексов возрастности (Уранов, 1975) популяций *Orthilia secunda* показал, что они представлены преимущественно молодыми особями, следовательно, воздействие данных популяций на среду невелико, так как индексы всех ценопопуляций не превышают 0,5 (варьируют в пределах от 0,13 до 0,23).

Наряду с возрастной дифференциацией для растений в связи с их пластичностью весьма характерна размерная дифференциация в пределах возрастных групп (Ценопопуляции растений..., 1988).

Экспериментальный материал был обработан стандартными методами математической статистики (Зайцев, 1973; Рокицкий, 1964). В табл. 78 приведены результаты исследований биометрических показателей *Orthilia secunda*.

Согласно терминологии Г. Н. Зайцева (1973), в зависимости от величины коэффициента вариации варьирование данных считали небольшим (0–10 %), средним (11–20 %) и большим (> 20 %). Исследования показали, что большая часть признаков характеризуется значительной вариабельностью.

Точность опыта (p) считалась удовлетворительной, если p не превышал 5 % (Зайцев, 1973). Большое количество неудовлетворительных опытов объяснимо, возможно, недостаточным объемом выборки.

Изучение микоризы. Одним из факторов, способствующих выживанию пионерных растений на техногенных субстратах, являются микоризообразующие грибы. Микоризные грибы, увеличивая адсорбционную поверхность корня, участвуют в поглощении питательных веществ из почвы, улучшают снабжение водой, действуют на морфогенез корневой системы, влияют на интенсивность фотосинтеза, выполняют защитную роль в борьбе с патогенными инфекциями, участвуют в регуляции роста и развитии растения-хозяина. Исследования проводились по методике, разработанной в Пермском педагогическом институте (Селиванов, 1981). Изучались такие показатели микотрофности, как частота встречаемости (F), степень микотрофности (D), интенсивность микоризной инфекции (C) и микосимбиотрофический коэффициент фитоценоза (M).

На Южном Веселовском отвале было проведено изучение микоризы видов травянисто-кустарничкового яруса. Для этого были отобраны образцы растений на четырех выделах, различающихся возрастом отсыпки и эколого-ценотическими условиями.

В ходе проведенного исследования было обнаружено три типа микориз (Селиванов, 1981).

Тип зигомикетных тамнискофаговых (везикулярно-арбускулярных) эндомикориз. Для микориз этого типа характерно наличие нечленистого мицелия, везикул и арбускул, а также скоплений продуктов переваривания в виде зернистой массы в так называемом слое переваривания.

На отвале этот тип микориз был встречен у немногих исследованных видов растений и представлен в основном гифами и единичными везикулами, арбускул и продуктов переваривания в корнях крайне мало. Везикуло-арбускулярная микориза была обнаружена у *Rubus saxatilis*, *Viola persicifolia* Schreb. (выдел 1); у *Angelica sylvestris* L. (выдел 2); у *Tanacetum vulgare* (выделы 3, 4); у *Odontites vulgaris* и *Taraxacum officinale* (выдел 4).

Тип эумикетных толипофаговых эктомикориз (эрикоидные и арбутоидные микоризы). Микосимбионты — неидентифицированные грибы с септированным мицелием, преимущественно из несовершенных. На поверхности корня — грибной чехол различной плотности или шнуровидные тяжи грибницы. В пределах данного типа выделяют два подтипа: арбутоидный (для этого подтипа характерно наличие более или менее развитого чехла и сети Гартига) и эрикоидный (чехлы выражены слабо или вместо них — рыхлые грибницы на поверхности). Арбутоидные ми-

**Биометрические показатели *Orthilia secunda*
на Южном Веселовском отвале**

Показатель	Выдел	Возрастное состояние											
		j			im			v			g ₂		
		$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %
Высота побега, см	3	3,4 ± 0,1	2,5–4,4	16	4,5 ± 0,2	3,8–5,5	13	6,4 ± 0,2	3,9–10,5	21	12,7 ± 0,3	11,0–17,2	11
	2	4,6 ± 0,2	3,0–6,5	22	6,3 ± 0,2	4,5–8,5	13	8,9 ± 0,3	5,0–13,0	22	15,6 ± 0,9	12,5–20,0	15*
	1	3,6 ± 0,1	2,5–4,5	18	6,0 ± 0,1	4,0–7,0	14	9,0 ± 0,3	6,5–14,0	19	15,5 ± 0,9	12,5–18,5	16*
Количество листьев, шт.	3	2,6 ± 0,1	2,0–3,0	19	4,0 ± 0,2	3,0–5,0	17	8,5 ± 0,4	5,0–16,0	31	7,5 ± 0,7	4,0–13,0	36*
	2	2,5 ± 0,1	2,0–3,0	20	4,6 ± 0,1	4,0–5,0	11	8,1 ± 0,2	6,0–13,0	22	6,9 ± 0,4	5,0–8,0	16*
	1	2,4 ± 0,1	1,0–3,0	26	4,2 ± 0,1	3,0–5,0	15	7,3 ± 0,2	5,0–12,0	19	8,9 ± 0,7	6,0–11,0	22*
Количество живых листьев, шт.	3	2,6 ± 0,1	2,0–3,0	19	4,0 ± 0,2	3,0–5,0	17	8,4 ± 0,3	5,0–16,0	31	7,2 ± 0,6	4,0–13,0	35*
	2	2,5 ± 0,1	2,0–3,0	20	4,6 ± 0,1	4,0–5,0	11	8,1 ± 0,2	6,0–13,0	22	6,9 ± 0,4	5,0–8,0	16*
	1	2,4 ± 0,1	1,0–3,0	26	4,2 ± 0,1	3,0–5,0	15	7,3 ± 0,2	5,0–12,0	19	8,9 ± 0,7	6,0–11,0	22*
Длина листовой пластинки, см	3	1,1 ± 0,1	0,7–1,5	22*	1,5 ± 0,1	1,2–1,9	13	1,7 ± 0,1	1,0–2,5	21	2,0 ± 0,1	1,6–2,5	13
	2	1,4 ± 0,1	0,9–2,2	25	1,8 ± 0,1	1,2–2,5	21	2,2 ± 0,1	1,3–3,5	21	2,5 ± 0,1	2,3–2,9	9
	1	1,1 ± 0,1	0,6–1,5	22	1,8 ± 0,1	1,2–2,2	16	2,3 ± 0,1	1,6–2,9	14	2,2 ± 0,1	1,7–2,6	16*
Ширина листовой пластинки, см	3	0,8 ± 0,1	0,4–1,0	20*	1,0 ± 0,1	0,8–1,3	15	1,2 ± 0,1	0,8–1,9	21	1,4 ± 0,1	1,0–1,8	18
	2	1,0 ± 0,1	0,7–1,5	24	1,2 ± 0,1	0,8–1,6	19	1,5 ± 0,1	0,9–2,0	19	1,7 ± 0,1	1,4–1,9	10
	1	0,8 ± 0,1	0,3–1,2	28	1,3 ± 0,1	1,0–1,6	14	1,6 ± 0,1	2,1–1,3	14	1,6 ± 0,1	1,4–1,8	10
Длина цветоноса, см	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,3 ± 0,7	2,0–10,6	69*
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,7 ± 0,2	2,0–3,5	18*
	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,8 ± 0,1	2,0–3,0	14
Количество цветков в соцветии, шт.	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10,4 ± 0,4	8,0–14,0	15
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,7 ± 0,6	9,0–13,0	14
	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,5 ± 0,8	8,0–16,0	19*

* $p > 5\%$.

Изучение показателей микоризы на разных выделах отвала представлено в табл. 79. Проведенные исследования показали, что в формирующихся на отвале растительных сообществах большинство исследованных видов (98,4 %) являются микотрофными, большая их часть (96,7 %) относятся к слабомикотрофным. Среднемикотрофными оказались *Pyrola minor* ($D = 3,01$ балла) и *Vaccinium myrtillis* ($D = 2,09$ балла). Немикотрофные виды: *Equisetum arvense* и *E. sylvaticum* L.

Таблица 79

Сравнительная характеристика показателей микоризы на разных выделах Южного Веселовского отвала

Показатель	Выдел 1	Выдел 2	Выдел 3	Выдел 4
Число исследованных видов, шт.	35	36	29	21
Доля микотрофных видов, %	97,1	100	100	95,2
Средняя частота встречаемости микоризы (F), %	34,05	35,1	38,03	17,3
Средняя степень микотрофности растений (D), баллы	$0,40 \pm 0,06$	$0,52 \pm 0,1$	$0,49 \pm 0,07$	$0,18 \pm 0,04$
Коэффициент интенсивности микоризной инфекции (Q), %	$7,84 \pm 1,23$	$10,45 \pm 2,09$	$9,92 \pm 1,53$	$3,78 \pm 0,95$
Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M), %	7,92	10,45	9,92	3,6

Сравнение средних значений степени, интенсивности и частоты встречаемости микоризной инфекции показало, что на выделах 1, 2, 3 эти показатели выше, чем на выделе 4. Значения микосимбиотического коэффициента фитоценоза на выделах 1, 2, 3 достоверно отличаются от такового на выделе 4 (рис. 25).

Таким образом, из полученных результатов следует, что на процесс микоризообразования большое влияние оказывают как эколого-ценотические условия, так и систематическое положение растений.

Евстюнинское железорудное месторождение магнетитовых железных руд Высокогорского ГОКа находится в 3 км от пос. Евстюниха, на северной окраине г. Нижнего Тагила, в его зеленой зоне. Непосредственно к месторождению примыкают сосняки ягодные, разнотравные и производные от них сосново-березовые леса I группы. Средний класс бонитета естественных лесов для южной тайги предгорной провинции соответствует II, 5 — II, 9 (Колесников, 1969).

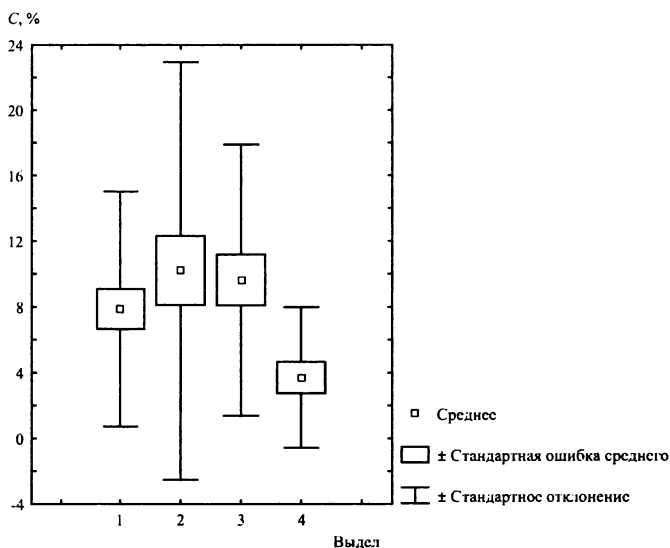


Рис. 25. Значения микосимбиотического коэффициента фитоценозов, формирующихся на Южном Веселовском отвале

Отсыпка Евстунинского отвала производилась с 1953 г. железнодорожным транспортом. Отвал имеет бобовидную форму, общая площадь нарушенной территории составляет около 110 га. Отвал пустых пород формировался в один ярус со склона горы с восточной стороны карьера. Максимальная высота над уровнем дневной поверхности достигает 20 м.

Мероприятий по рекультивации нарушенных земель не проводилось. Поверхность отвала имеет сложный рельеф: технологические дороги, отсыпанные из рыхлых вскрышных пород (желтые суглинки, дресва, щебень), шириной от 7 до 12 м, со следами разобранных железнодорожных путей чередуются с полосами глыбистых скальных пород шириной от 15 до 20 м.

Отвал сложен в основном скальными горными породами: габбро, гнейсы, сланцы. Удельный вес скальных пород с коэффициентом крепости 7–8 по шкале проф. Протодяконова составляет 85 % и более. Преобладание в составе вскрыши скальных пород, обладающих малой скоростью выветривания, делает их непригодными для непосредственного использования при биологической рекультивации. В составе рыхлых пород — смесь пород верхних горизонтов вскрыши и четвертичных суглинков. По литературным данным, указанные породы нетоксичны, не засолены (Махонина, 1976).

Поверхность отвала активно зарастает древесной, кустарниковой и в меньшей степени травянистой растительностью. Занос семян на отвал происходит из естественного сосняка разнотравного с примесью *Picea obovata* и *Betula* sp., массивы которого находятся по склонам невысоких гор с западной и северо-западной стороны, из заросшей *Populus tremula*, *Alnus incana* и *Salix* sp. долины с северной стороны отвала, древесных насаждений пос. Евстюниха с северо-востока и сосняка, произрастающего вдоль восточного края отвала.

Обследование отвала проводилось детально-маршрутным методом с описанием растительности по общепринятой методике. Трансекта проходила поперек железнодорожных отсыпок в направлении северо-восток — юго-запад. На разновозрастных (по времени отработки) участках с произрастанием древесной растительности были заложены пробные площади (по 100 м²), на которых был охарактеризован древесный ярус (определение высоты, диаметра стволов, подсчет, описание подлеска и подроста) и травянистый ярус (выявление видового состава, определение общего проективного покрытия, облия по Друде), видовой состав мхов и лишайников. Площадки были заложены на основных элементах рельефа отвала: на поверхности отработанных дорог и каменистых полосах.

По срокам отработки и формирования растительного покрова на отвале были выделены три участка:

- 10–15 лет — северо-восточная и восточная часть (по периметру) отвала;
- 20–30 лет — центральная часть;
- 35–47 лет — западная часть, расположенная полосой вдоль борта карьера.

Изучение растительности на учетных площадях показало, что видовой состав древесных и травянистых растений существенно различается в зависимости от возраста участка, степени каменистости субстрата, стадии формирования растительного покрова.

Период самозарастания 10–15 лет. На краевом «молодом» по возрасту участке описан начальный этап восстановления растительности, который характеризуется активным поселением древесных растений, в основном лиственных пород. Общее количество жизнеспособных всходов и семян 1–5 лет на защебненных дорогах достигает более 80 тыс. шт./га, из них *Betula pendula*, *B. pubescens* — 59 тыс. шт./га; *Populus nigra* L., *P. suaveolens* Fisch. — 12 тыс. шт./га; *Salix* sp. (6 видов) — 5 тыс. шт./га; *Populus tremula* — 2,8 тыс. шт./га; *Pinus sylvestris* — 3,8 тыс. шт./га; *Picea obovata* и *Larix sibirica* по 100 шт./га (табл. 80). Количество подроста (молодых особей 6–10 лет) значительно меньше — 4,5 тыс.

шт./га, из них *Betula pendula* и *B. pubescens* — 2,5 тыс. шт./га; *Populus nigra* — 1,5 тыс. шт./га; *Pinus sylvestris* — 0,5 тыс. шт./га. Средняя высота подроста древесных растений составляет всего 0,7 м. Только единичные экземпляры *Populus nigra* и *Betula pendula* достигают высоты 1,5–2 м. Хвойные виды значительно отстают в росте: 8-летние *Pinus sylvestris* имеют высоту 0,6–0,8 м, а *Picea obovata* — 0,1 м.

На полосах скальных пород также преобладают всходы и подрост *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus nigra*, но значительно больше всходов *Picea obovata*. Подростающие особи древесных растений характеризуются очень малым годовым приростом. Десятилетние *Pinus sylvestris* имеют высоту всего 0,6 м, что соответствует крайне низкому классу бонитета. Кустарники представлены *Alnus incana*, *Salix caprea*, *S. pentandra* и *Hippophaë rhamnoides* L. *Alnus incana* произрастает крупными кустами высотой от 2 до 3,5–4 м в воронкообразных углублениях курумника и плодоносит. Наблюдается активное поселение *Hippophaë rhamnoides* по склону отвала и на поверхности участка, где она встречается одиночными кустами высотой до 1,1 м.

ОПП растительности, поселившейся на щебенчатых участках, составляет около 35–40 %, на бурых суглинках местами до 55 %, из них покрытие травами соответственно 7–10 и 20 %. Видовой состав высших растений на пробных площадках варьирует от 8 до 19 видов травянистых растений. Чаще встречаются *Arenaria serpyllifolia* L. (обилие по Друде — сор₂), *Melilotus albus* (sp), *Trifolium pratense* (sol–sp), *Erigeron acris* (sp), *Poa trivialis* (sp gr). Высокая каменистость субстрата затрудняет естественное поселение семян и дальнейшее развитие травянистых растений. На каменистых участках ОПП не превышает 25 %, травянистая растительность местами отсутствует или представлена редко произрастающими одиночными растениями *Arenaria serpyllifolia* (sol), *Melilotus albus* (un–sol), *Euphrasia brevipila* Burn. & Gremli (un–sol).

Всего на 15-летнем участке произрастает 50 видов высших сосудистых растений, принадлежащих 41 роду и 16 семействам. Древесные растения представлены 9 видами, кустарники — 8 видами, травянистые — 33 видами.

Наиболее представительны семейства Asteraceae (11 видов), Salicaceae (9 видов), Fabaceae (5 видов), Poaceae и Scrophulariaceae (по 4 вида), Pinaceae и Betulaceae (по 3 вида). В ценоотическом отношении одинаковое число и долю имеют группа сорных (сорно-рудеральных и лугово-сорных) видов и луговые виды — по 15 видов (30 %), количество лесных растений — 11 видов, что составляет 22 %, переувлажненных мест

Характеристика древесных и кустарниковых видов, произрастающих на разновозрастных участках

Евстунинского отвала

Возраст участка, лет	Вид	Количество особей, шт./га			Биометрические показатели взрослых особей					
		Всходы и сеницы (1-5 лет)	Подрост (молодые особи, 6-20 лет)	Взрослые	Высота, м		Диаметр ствола (на высоте 1,5 м), см			
					X _{ср}	min	max	X _{ср}	min	max
10-15	<i>Betula pendula</i>	58 750	2 500	—	0,7	0,01	1,3	—	—	—
	<i>Picea obovata</i>	250	—	—	0,05	0,02	0,1	—	—	—
	<i>Salix</i> sp.	5 250	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Populus tremula</i>	2 750	—	—	0,25	0,01	0,3	—	—	—
	<i>Pinus sylvestris</i>	3 750	500	—	0,7	0,01	0,8	—	—	—
	<i>Populus nigra</i>	12 250	1 500	—	0,9	0,01	2,0	—	—	—
20-30	<i>Betula pendula</i>	Нет дан.	700	500	4,3	3,0	5,0	3,7	3,0	4,0
	<i>Betula pubescens</i>	—	—	100	3,5	2,0	3,5	2,5	2,0	2,5
	<i>Picea obovata</i>	500	400	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Salix</i> sp.	500	900	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Alnus incana</i>	—	100	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Populus tremula</i>	3 000	1 400	100	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0
35-47	<i>Pinus sylvestris</i>	36 000	4 000	1 200	4,7	3,0	6,5	8,0	5,0	13,5
	<i>Betula pendula</i>	415	1 925	925	8,6	5,5	13,0	7,2	2,5	12,5
	<i>Picea obovata</i>	450	1 100	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Salix caprea</i>	350	125	25	7,0	3,5	7,0	5,0	2,5	5,0
	<i>Larix sibirica</i>	—	25	25	12,0	—	—	18,0	—	—
	<i>Populus tremula</i>	125	600	425	8,5	5,5	12,5	8,6	2,5	16,0
	<i>Alnus incana</i>	1 460	775	25	8,0	—	—	—	—	—
	<i>Abies sibirica</i>	63	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Pinus sylvestris</i>	7 040	2 075	1 000	9,3	5,0	13,0	13,1	4,1	24,2
	<i>Pinus sibirica</i>	12	—	—	—	—	—	—	—	—

обитания — 5 видов (10 %), культурные растения — 2 вида (4 %) и степные — 2 вида (4 %).

На участке встречены мхи (2 вида), которые развиваются редкими пятнами в углублениях между камнями (ОПП не более 5 %), где накапливаются мелкозем и лиственный опад. Кроме этого, на поверхности крупных глыб породы и по субстрату широко распространяются лишайники (2 вида), особенно *Stereocaulon tomentosum* Fr.

Период самозаращения 20–30 лет. В центральной части отвала на полосах скальных пород сформировались редины *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*, занимающие около 50 % территории участка. Общее количество взрослых особей не превышает 100–200 шт./га. Вид особей *Pinus sylvestris* угнетенный (короткая желтоватая хвоя, малый ежегодный прирост); 20–25-летние особи *Pinus sylvestris* имеют высоту от 2 до 2,5 м.

Древесная и травянистая растительность на участке приурочена в основном к дорогам и навалам суглинков вдоль дорог, на которых произрастает аллеями молодой изреженный лес с участием *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*, *Salix caprea* и *Alnus incana* (6СЗБ1ОсИед). Сомкнутость крон деревьев на пробной площади едва достигает 0,3. Отмечено обильное плодоношение отдельных 25-летних особей *Pinus sylvestris* и в связи с этим усложнение вертикальной структуры лесного фитоценоза появлением всходов и сеянцев нового поколения этого вида на отвале. На исследуемой площади общее количество жизнеспособных всходов и сеянцев 1–5 лет древесных пород достигает 40 тыс. шт./га, из них *Pinus sylvestris* — 36 тыс. шт./га, подроста было насчитано 7,5 тыс. шт./га, из них *Pinus sylvestris* — 4 тыс. шт./га. Общее количество взрослых особей древесных и кустарниковых видов в аллеях вдоль дорог достигает всего 1 900 шт./га, из них *Pinus sylvestris* — 1 200 шт./га, *Betula* — 500 шт./га (см. табл. 80). Под древесными видами формируется подстилка из прошлогоднего опада хвои и листьев.

Исследования роста *Pinus sylvestris* на центральном участке показали, что рост ее идет в основном по V классу бонитета, характеризующемуся низкими морфометрическими показателями. Отмечается сбежистость ствола, малый годовой прирост. На участке *Larix sibirica* произрастает редко, в основном на переходной полосе между дорогой и глыбами. *Picea obovata* и *Abies sibirica*, встречающиеся в виде всходов и низкого подраста, имеют низкие показатели по приросту. Это можно объяснить тем, что экологических требования культур *Picea obovata* и *Abies sibirica* не соответствуют лесорастительным условиям данных отвалов.

Видовая насыщенность пробных площадок центральной части отвала тоже низкая, так, на площади 100 м² произрастает 17 видов высших сосудистых растений, из них древесные — 6 видов, кустарники — 3 вида, травы — 8 видов. Проективное покрытие травянистой растительности 15–20 %. Наиболее распространены следующие виды: *Trifolium pratense* (sp gr), *Amoria repens* (sol gr), *Melilotus albus* (sol gr), *Poa trivialis* L. (sol). Под группами *Pinus sylvestris* появляются типичные лесные растения: *Pyrola minor* (un), *Fragaria vesca* (un–sol), *Melica nutans* L. (un).

Всего в аллеях центральной части отвала произрастает древесных растений — 10 видов, кустарников — 4 вида, травянистых — 40 видов. В ценотическом отношении в формирующихся лесных фитоценозах почти в 2 раза больше, чем на «молодом» участке, число (20 видов) и доля (37 %) лесных видов, число луговых видов одинаково (15 видов), но их доля ниже (27,8 %), число сорных видов уменьшилось незначительно (до 13 видов), а их доля составляет четвертую часть от общего числа видов (24,1 %). В результате экологического отбора уменьшается количество видов переувлажненных мест обитаний до 3 видов, их доля составляет всего 5,4 %.

Таксономическая структура изменилась незначительно (17 семейств, 43 рода, 54 вида). Наиболее представительны семейства Fabaceae (10 видов), Asteraceae (8 видов), Salicaceae (6 видов) Poaceae (5 видов), Pinaceae (4 вида), Betulaceae и Rosaceae (по 3 вида).

Период самозаращения 35–47 лет. Участок отвала, отсыпанный рыхлыми вскрышными породами с выходом скальных глыб, занимающими около 30 % поверхности. Грунт покрыт лесной подстилкой мощностью от 1 до 2 см, под которой начал формироваться гумусовый горизонт. На участке сформировался лесной фитоценоз с доминированием *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* (6СЗБ1ОседЛедИ). Сомкнутость крон составляет от 0,4 до 0,75. Возраст отдельных экземпляров сосны достигает 35–40 лет.

По данным А. И. Лукьянца (Рекультивация земель..., 1976), возобновление считается успешным, если при равномерном размещении на 1 га вскрышных отвалов имеется не менее 3 тыс. древесных растений. Степень покрытия площади лесом должна быть не менее 60 %. Наши исследования показали, что общее количество взрослых особей древесных видов, произрастающих на участке, составляет 2 425 шт./га, из них *Pinus sylvestris* — 1 000 шт./га, *Betula pendula* — 925 шт./га, осины — 425 шт./га (см. табл. 80). Под пологом деревьев сформировался ярус подроста основных лесообразующих древесных и кустарниковых видов (ОПП — 20 %). Среднее количество подроста (6–20 лет) составляет 6 625 шт./га, из них *Pinus sylvestris* — 2 075 шт./га, *Betula pendula* — 1 925 шт./га,

Характеристика показателей микоризы травянистых видов в растительных сообществах, формирующихся на промышленных отвалах

Показатель	Отвал Евстиновского желе- зородного месторождения		Сухореченский доломитовый отвал		Галинские отвалы мрамор- изированного известняка	
	15-20	30-35	15-20	30-35	20-22	50-55
Возраст участка, лет	15-20	30-35	15-20	30-35	20-22	50-55
Субстрат	Породы габбро, сланцы, глины и продукты их вы- ветривания		Смесь обломков доломитов с элювиальными глинами		Смесь обломков известняка, глин, сульфидов	
pH субстрата	6,0-6,6		7,4	7,3-7,7	7,3-7,7	
Число исследованных видов, шт.	16	9	26	19	19	46
Доля микотрофных видов, %	75,0	88,9	92,3	100,0	94,7	91,3
Средняя степень микотрофности рас- тений (<i>D</i>), баллы	0,06 ± 0,02	0,2 ± 0,06	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,2	1,0 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Коэффициент интенсивности микориз- ной инфекции (<i>Q</i>), %	1,3 ± 0,45	3,6 ± 1,18	25,4 ± 3,70	27,2 ± 2,99	21,5 ± 2,87	31,2 ± 2,53
Микосимбиотический коэффициент фитогенеза (<i>M</i>), %	0,9 ± 0,37	3,2 ± 1,12	23,4 ± 3,7	27,2 ± 2,8	20,4 ± 2,9	28,5 ± 2,7
Микосимбиотический ряд дифференциации, шт.:						
число немикотрофных видов	4	1	2	0	1	4
число слабомикотрофных видов	12	8	19	18	16	25
число среднемикотрофных видов	0	0	5	7	2	16
число высокомикотрофных видов	0	0	0	0	0	1

Picea obovata — 1 100 шт./га, *Populus tremula* — 600 шт./га, *Alnus incana* — 775 шт./га. Следует отметить удовлетворительное по числу жизнеспособных всходов и семян (до 5 лет) возобновление *Pinus sylvestris* (7 040 шт./га). Отмечается появление, наряду со всходами всех произрастающих на участке древесных растений, семян новых видов деревьев и кустарников: *Pinus sibirica*, *Abies sibirica*, *Acer negundo*, *Tilia cordata* Mill., *Lonicera xylosteum*, *Sorbus aucuparia*, *Ribes* sp., *Padus avium* Mill. В целом возобновление древесных растений на 40-летнем исследуемом участке можно характеризовать как удовлетворительное.

Модельные особи *Pinus sylvestris* характеризуются следующими биометрическими показателями (см. табл. 80): средний диаметр на $h = 1,3$ м стволов составляет 13,1 см (min — 4,1 см, max — 24,2 см), средняя высота 35-летних *Pinus sylvestris* достигает 9,3 м (min — 5,0 м, max — 13,0 м); соответствуют III–IV классам бонитета. Средняя высота *Betula pendula* и *Populus tremula* достигает 8,6 м, средний диаметр ствола соответственно 7,2 и 8,6 см.

Травянистый ярус выражен слабо (ОПП от 7 до 10 %). Всего на учетных площадках произрастает от 8 до 25 видов травянистой растительности. Размещение растений чаще всего групповое. Отмечается разнообразие Pyrolaceae (5 видов), из них высокое обилие у *Orthillia secunda* (sp gr—сop₁₁). Обильны Fabaceae: *Trifolium pratense* (sp), *Lathyrus pratensis* (sp), *Amoria repens* (sol gp—sp), Rosaceae: *Rubus saxatilis* (sp gr), *Fragaria vesca* (sp gr). В малых количествах, но повсеместно встречаются *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC., *Geranium sylvaticum* L. (sol), появились представители семейства Orchidaceae: *Malaxis monophyllos* (L.) Sw. (sol gr).

Только после 40 лет восстановления растительности на изучаемом участке наблюдается формирование характерных для коренных лесных сообществ микрогруппировок, ядро которых составляют *Pyrola* sp., *Aegopodium podagraria*, *Rubus saxatilis*, *Calamagrostis arundinacea* (sol gr).

Анализ динамики фиторазнообразия указывает на формирование биоценоза, близкого к полночленному. Всего на участке встречено 67 видов высших сосудистых растений, принадлежащих 55 родам, 27 семействам. По жизненным формам это деревья (10 видов), кустарники (9 видов), полукустарнички (7 видов), многолетние травянистые (47 видов). Встречено 8 видов мхов, а также 9 видов грибов и 8 видов лишайников.

Нами было проведено изучение зависимости показателей микотрофности травянистых видов от возраста растительных сообществ, формирующихся на разновозрастных участках отвала Евстюнинского железорудного месторождения (10–15 и 25–30 лет). Полученные данные приведены в табл. 81.

Исследование показало, что на участке 15–20 лет доля микотрофных видов составила 75,0 %, средняя частота встречаемости микоризы (F) — 4,0 %, средняя степень микотрофности (D) — 0,06 балла, коэффициент интенсивности микоризной инфекции (Q) — 1,3 %, микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M) — 0,9 % (табл. 81).

На участке 30–35 лет доля микотрофных видов (88,9 %) и все показатели микотрофности ($F = 11,1$ %, $D = 0,2$ балла, $Q = 3,6$ %) оказались выше, чем на более молодом участке. Все исследованные на обоих участках микотрофные виды являются слабомикотрофными.

Билимбаевское месторождение флюсовых известняков расположено на территории Уральской горной физико-географической провинции, рядом с пос. Билимбай Свердловской области. В зональном отношении район расположен в таежной зоне, подзоне южной тайги. В его контуре разрабатываются Сухореченское месторождение доломитов и Галкинское месторождение мраморизированного известняка.

Отвал Сухореченского месторождения доломитов — 1–2-ярусный, состоит из нескольких разновозрастных участков с разным по механическому составу субстратом. В целом грунтосмеси Сухореченского отвала карбонатны, не засолены. Реакция среды щелочная (pH 7,2–8,4). Содержание доступных элементов питания низкое (Махонина, 2003).

Формирование растительного покрова в процессе самозарастания на отвалах месторождений известняка в основном идет по лесному типу (табл. 82). Были обследованы три разновозрастных участка. На участке I (возраст 10–15 лет) субстрат характеризуется сильным уплотнением поверхности автотранспортом, высоким содержанием щебня. Общее проективное покрытие колеблется от 2 до 80 % и в среднем составляет 20 %.

Растительность представлена обильным подростом (до 60 см высотой) *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*, *P. suaveolens*, *Salix caprea*, *S. myrsinifolia* и др. Встречаются единичные всходы хвойных *Pinus sylvestris* и *Picea obovata*, а также кустарников: *Hippophaë rhamnoides*, *Chamaecytisus ruthenicus*. Из травянистых форм наиболее распространены монокарпические виды: *Melilotus albus*, *Arenaria serpyllifolia*, *Buglossoides arvensis* (L.) Johnst., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Lepidium rudemale*, *Polygonum aviculare*. Видовое богатство на 100 м² составляют 22 вида.

Поверхность участка II (30–35 лет) сильно бугристая, выделяются отдельные кучи, гряды, сложенные смесью бурых песчанистых элювиальных глин, различных сланцев, крупных обломков известняка и доломитов размером 0,1–0,8 м. Условия для произрастания растений крайне неблагоприятны.

Характеристика лесных фитоценозов при самозарастании отвалов месторождений известняка (на площади 100 м²)

Показатель	Разновозрастные участки на отвале Сухореченского место- рождения доломитов			Отвал № 4 Галкинского месторождения
	10–15	30–35	40–45	
Период самозарастания, лет	10–15	30–35	40–45	50–55
Сомкнутость древесного яруса	–	–	0,4–0,7	0,35–0,6
Кустарниковый ярус, ОПП, %	40–60	–	10	25
Травянистый ярус, ОПП, %	20	<10	30	35
Мохово-лишайниковый ярус, ОПП, %	–	<5	10	10
Среднее количество особей деревьев, шт.:				
<i>Acer negundo</i> L.	–	–	–	0,3
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	20,0	7,0	–	–
<i>Betula pendula</i> Roth	119,0	28,0	6,7	1,3
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	–	–	3,7	7,3
<i>Pinus sylvestris</i> L.	38,0	36	45,0	191,6
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	7,0	2,0	5,3	1,3
<i>Populus nigra</i> L.	–	–	–	0,7
<i>Populus tremula</i> L.	69,0	–	18,7	21,3
Среднее количество особей кустарников, шт.:				
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.	–	–	–	0,3
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Wołoszcz.) Klásková	+	+	6,0	2,0
<i>Juniperus communis</i> L.	–	–	–	0,3
<i>Lonicera</i> sp.	–	–	0,7	–
<i>Padus avium</i> Mill.	–	–	–	1,0
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	–	–	0,3	0,3
<i>Salix</i> sp., в том числе:	97,0	31,0	11,7	8,7
<i>Salix caprea</i> L.	+	+	+	+
<i>Salix cinerea</i> L.	+	+	+	+
<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	+	+	+	+
<i>Salix pentandra</i> L.	+	–	+	–

Показатель	Разновозрастные участки на отвале Сухореченского месторождения доломитов			Отвал № 4 Галкинского месторождения
<i>Salix rosmarinifolia</i> L.	+	+	—	—
<i>Salix viminalis</i> L.	+	+	+	—
<i>Viburnum opulus</i> L.	—	—	—	0,3
<i>Sorbus aucuparia</i> L.		—	0,7	9,3
Всего особей древесных растений	350,0	104,0	98,8	246,3
Индекс биоразнообразия Симпсона (концентрация доминирования древесных растений)	0,24	0,28	0,3	0,6
Количество видов, шт./100 м ²	22	15	39,3* 36–44	33* 32–34

* В числителе — среднее число видов, в знаменателе — пределы числа видов.

Растительный покров сильно разрежен, растения произрастают в основном в межбугорных понижениях и в нижней трети откосов бугров. Общее проективное покрытие растительностью составляет 15–20 %. Древесные виды, произрастающие на участке, отличаются низким ростом, слабым развитием. Из древесных и кустарниковых видов преобладают *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Salix cinerea*, единичными особями встречаются *Alnus incana*, *Betula pubescens*, *Picea obovata*, *Populus tremula*, *P. suaveolens*, *Salix caprea*, *S. myrsinifolia*, *Hippophaë rhamnoides*, *Chamaecytisus ruthenicus*; из травянистых — *Trifolium pratense*, *Melilotus albus*, *Pimpinella saxifraga*, *Festuca rubra*. На листовном опаде под кустами *Alnus incana* отмечены группировки *Orthilia secunda* и *Pyrola rotundifolia*. Видовое богатство на 100 м² составляют всего 15 видов.

На участке III (40–45 лет) субстрат суглинистый, каменистый, места глибистый, поверхность бугристая, перепады высот от 0,5 до 1,5 м. На участке формируется лесной фитоценоз с выраженной вертикальной структурой. Сомкнутость крон деревьев на пробной площадке составляет от 0,4 до 0,7. В составе древесного яруса: *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*, *Salix cinerea*.

Более подробно была проанализирована пространственная и возрастная структуры ценопопуляции *Pinus sylvestris*, как наиболее ценной в хозяйственном отношении породы, ее доля в древостое составляет 56,7 %.

На пробной площадке (площадью 100 м²) произрастает в среднем 45,0 особей (от 33 до 60 шт.), всего было проанализировано 135 особей *Pinus sylvestris*, из них 17,8 % составляют всходы (табл. 83). Подрост по

высоте был условно подразделен на два подъяруса. Первый сформирован особями высотой от 0,15 до 1 м, их доля составила 59,1 %, второй — от 1 до 2,5 м, доля которых составляет 17,1 %. Оставшиеся 6 % от общего числа особей входят в состав лесного яруса. Взрослые особи *Pinus sylvestris* имеют средний возраст до 27 лет (от 18 до 35 лет), достигают высоты в среднем 5,2 м, которая варьирует от 2,7 до 7,2 м, диаметр ствола на уровне 1,3 м составляет в среднем 15,2 см, в пределах от 6,0 до 26 см.

Таблица 83

Структура формирующихся сосняков при самозаращении отвалов нарушенных земель (среднее на площади 100 м²)

Вид	Отвал Сухореченского месторождения доломитов		Отвал Галкинского месторождения известняка	
	Количество особей, шт.	Доля, %	Количество особей, шт.	Доля, %
<i>Pinus sylvestris</i>	45,0	100	191,6	100
В том числе:				
взрослые	2,7	6,0	16,0	8,4
подрост 1–2,5 м	7,7	17,1	15,3	8,0
подрост до 0,9 м	26,6	59,1	75,0	39,1
всходы 1–2 года	8,0	17,8	85,3	44,5

Интерес вызывает самая многочисленная группа подроста высотой 0,15–1 м. Средний возраст особей этой группы составил 10,6 лет (от 7 до 16 лет). По данным В. А. Усольцева (2002), высота 10-летней особи *Pinus sylvestris* в естественных условиях в среднем составляет 3 м с диаметром ствола 3,1 см. Высота особей подроста *Pinus sylvestris* возрастом 10 лет и старше (до 16 лет), произрастающих на отвале Сухореченского месторождения доломита, составила в среднем всего 48,7 см (от 23 до 97 см), а их диаметр едва 1,0 см. Доля особей, имеющих явные признаки карликовости, в этой группе подроста достигает 78,4 %.

По возрастной структуре ценопопуляция *Pinus sylvestris* характеризуется как молодая (преобладают особи прегенеративных стадий), нормальная, с неполным спектром (отсутствуют стареющие особи). Доля генеративных особей на момент исследования составила 2,2 % от общего числа особей.

Вторая хвойная порода *Picea obovata* встречается как в виде взрослых особей высотой от 2,5 до 7,0 м, так и подроста — от 0,35 до 1,9 м, доля в древостое составила 6,7 %.

Значительную долю (23,6 %) и большую среди лиственных пород в древостое занимает *Populus tremula*, особи которой достигают высоты в среднем 3,6 м (от 2,6 до 5,85 м). Из пересчитанных особей *Populus*

tremula на пробной площадке 40 % составляет подрост высотой в пределах от 0,7 до 2,5 м.

Доля *Betula pendula* в древостое участка равна 8,4 %, взрослые особи имеют высоту в среднем 4,0 м (от 2,9 до 5,5 м), подрост составляет 20 % от численности этого вида. Взрослые особи *Betula pubescens* малочисленны, в основном эта порода встречается в виде подростка высотой от 0,2 до 2,4 м.

Среди видов *Salix* следует отметить *Salix cinerea*, особи которой достигают высоты до 3,5 м и входят в состав нижнего подполога древостоя.

Формируется подлесок, представленный семью видами, среди которых наиболее распространены *Salix pentandra*, *S. myrsinifolia*, *Chamaecytisus ruthenicus*, единично встречаются *Rosa acicularis*, *Sorbus aucuparia*, *Lonicera* sp.

На пробных площадках в среднем произрастает 92,5 особи древесных и кустарниковых видов. Индекс концентрации доминирования (индекс Симпсона) составил 0,3.

Травянистый ярус разрежен, распределение растений неравномерное, проективное покрытие на открытых местах достигает 40 %, а в затененных (под пологом древесных видов) — 10 %. Преобладающие по встречаемости виды: *Pimpinella saxifraga*, *Fragaria vesca*, *Poa palustris*, *Elymus caninus* (L.) L., *Galium mollugo*, *G. boreale*, *Trifolium medium*, *Lathyrus pratensis*, *Veronica chamaedrys*, *Trifolium pratense*, *Vicia cracca*, *Achillea millefolium*. Видовое богатство на пробной площадке составило в среднем 39,3 вида (от 36 до 44 видов). Всего на участке встречено 77 видов.

На промышленных отвалах Среднего Урала на определенной стадии формирования лесных фитоценозов начинают поселяться типичные лесные виды, в том числе представители сем. Pyrolaceae — *Pyrola rotundifolia* и *Orthilia secunda*.

Нами было проведено изучение возрастной, морфологической и пространственной структур ценопопуляций (ЦП) *Pyrola rotundifolia* и *Orthilia secunda*, произрастающих на разновозрастных (30–35, 40–45 лет) участках Сухореченского доломитового отвала.

На участке Сухореченского отвала возрастом 30–35 лет коэффициент встречаемости *Pyrola rotundifolia* составляет 6,7 %, *Orthilia secunda* — 15,6 %. Проективное покрытие данных видов изменяется от 1 до 12 %. На участке возрастом 40–45 лет коэффициент встречаемости *Pyrola rotundifolia* составляет 6,7 %, *Orthilia secunda* — 26,7 %. Проективное покрытие *Orthilia secunda* и *Pyrola rotundifolia* изменяется от 1 до 20 %.

При ценопопуляционных исследованиях за единицу возрастной, морфологической и пространственной структуры ЦП данных видов мы

принимали особь вегетативного происхождения — рамету. Установлено, что на обоих участках ЦП *Pyrola rotundifolia* и *Orthilia secunda* являются нормальными, т. е. способными к самоподдержанию, и не зависят от заноса зачатков извне (рис. 26). Склонность спектров к максимуму в группе виргинильных особей объяснима преобладанием вегетативного способа возобновления популяций.

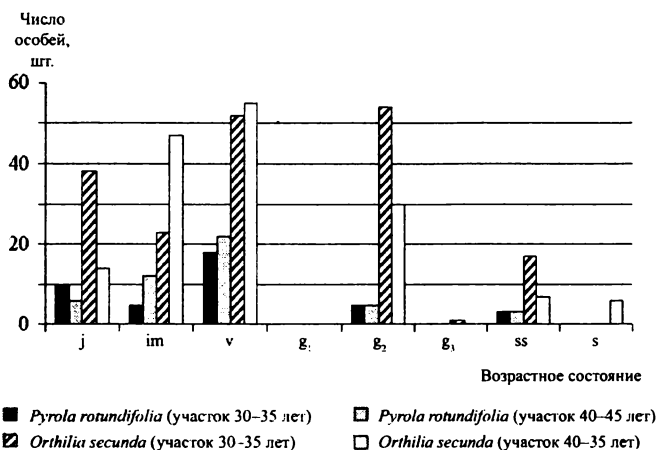


Рис. 26. Возрастные спектры *Pyrola rotundifolia* и *Orthilia secunda* на разновозрастных участках Сухореченского отвала

Воздействие данных видов на среду невелико: индексы возрастнойности (по Уранову, 1975) изученных популяций на разновозрастных участках отвала не превышают 0,5 и варьируют в пределах от 0,18 до 0,27.

Биоморфологический анализ проводился у особей разных возрастных групп. При сравнении биометрических показателей вегетативной и репродуктивной сферы видно, что наибольшие C_v имеют показатели вегетативной сферы ($C_v = 10,0\text{--}35,6\%$). Показатели репродуктивной сферы (длина цветоноса и количество цветков в соцветии) более устойчивы ($C_v = 1,6\text{--}16,6\%$). Среди показателей вегетативной сферы *Pyrola rotundifolia* наибольшей устойчивостью обладают размеры листовой пластинки зрелых генеративных особей (C_v длины изменяется от 5,3 до 6,2 %, C_v ширины — 7,6–13,5 %). Для всех возрастных состояний (за некоторыми исключениями) средние величины всех биометрических показателей *Pyrola rotundifolia* увеличиваются с возрастом участков. Более ярко эта закономерность проявляется у генеративных особей, видимо, как у более стабильных по сравнению с вегетативными. У *Orthilia secunda* прослеживается некая зависимость биометрических показателей от возраста

участков. Наименьшие значения C_v у *Orthilia secunda* имеет количество цветков в соцветии. Морфологические показатели *Orthilia secunda* приближаются к естественным показателям на «старом» участке отвала (40–45 лет) (Онтогенетический атлас..., 2004).

Известно, что большинство лесных видов в естественных фитоценозах являются микотрофными. Выявлено, что *Orthilia secunda* в условиях отвала имеет микоризу, относящуюся к типу зигомицетных тамнискофговых эндомикориз. Все изученные особи (как генеративные, так и вегетативные) по классификации И. А. Селиванова и И. Ф. Шавкуновой (1973) в условиях отвала являются слабомикотрофными. На разновозрастных участках отвала частота встречаемости микоризы (F) у этого вида варьирует в пределах от 68,5 до 74,5 %, степень микотрофности (D) — от 1,05 до 1,13 балла, коэффициент интенсивности микоризной инфекции (C) — от 21,0 до 22,6 %. Установлено, что на более молодом участке отвала показатели микотрофности особей *Orthilia secunda* ниже, чем на участке более старшего возраста.

Нами было проведено изучение зависимости показателей микотрофности травянистых видов от возраста растительных сообществ, формирующихся на разновозрастных участках отвалов Сухореченского доломитового месторождения (возраст 10–15 и 30–35 лет). Полученные результаты представлены в табл. 81.

Исследование микоризы травянистых растений на двух участках (молодом и средневозрастном) Сухореченского отвала доломитов показало, что доля микотрофных видов на молодом участке 92,3 %, средневозрастном — 100 %. Средняя частота встречаемости микоризы 59,8 % на молодом и 73,0 % — на средневозрастном. Коэффициент интенсивности микоризной инфекции на молодом участке равен 25,4 %, на средневозрастном — 27,2 %. Микосимбиотический коэффициент фитоценоза на молодом участке 23,4 %, средневозрастном — 27,2 %.

Большая часть исследованных микотрофных видов на обоих участках являются слабомикотрофными. На молодом участке 5 видов: *Medicago lupulina* ($D = 2,06$), *Chamaenerion angustifolium* ($D = 3,04$), *Pastinaca sylvestris* Mill. ($D = 1,82$), *Artemisia absinthium* ($D = 2,68$), *Leontodon autumnalis* ($D = 2,73$), а на средневозрастном 8 видов: *Amoria repens* ($D = 2,57$), *Chamaenerion angustifolium* ($D = 1,92$), *Linaria vulgaris* ($D = 2,77$), *Campanula rapunculoides* L. ($D = 2,24$), *Erigeron acris* ($D = 2,48$), *Hieracium caespitosum* ($D = 2,71$), *Leontodon autumnalis* ($D = 2,17$), *Poa pratensis* ($D = 1,92$), — являются среднемикотрофными. Немикотрофным оказался один вид *Erysimum cheiranthoides* (сем. Brassicaceae).

Карьер Галкинского месторождения известняков с южной и западной стороны окружен отвалами, вспомогательными сооружениями и сельскохозяйственными полями. Лес примыкает к карьере с востока (ельник травяной) и с севера (сосняк разнотравный). Леса несут следы антропогенного воздействия: имеются следы активных рубок (особенно крупных деревьев).

Галкинские отвалы мраморизированного известняка находятся рядом с пос. Билимбай Первоуральского района Свердловской области. Известняки представляют собой массивную породу желтовато-серой окраски с занозистым или раковистым изломом. Известняки в значительной степени закарстованы, особенно развиты поверхностные карстовые образования, заполненные плотными жирными запесоченными глинами с галькой кварцита и обломками известняка. Основная масса флюсовых известняков имеет следующий химический состав: содержание СаО не менее 50–52 %, Р — не более 0,02–0,03 %. Грунтосмеси отвалов карбонатные, не содержат фитотоксичных пород и не засолены, доступные фосфаты практически отсутствуют, обеспеченность К очень низкая (Махонина, 2003).

Наши исследования проводились на двух разновозрастных отвалах (№ 3 и № 4). Отвал № 3 находится к юго-востоку от карьера и имеет округлую вытянутую с запада на восток форму. Площадь основания равна 6,8 га, а верхнего яруса — 4,04 га. Отвал составляют четыре яруса, высота первого из них 7–13 м, второго до 20 м, третьего примерно 5–7 м, четвертого около 7 м, общая высота отвала 45 м. Склоны ярусов крутые. Засыпка 1-го яруса проводилась в 1970–1974 гг., 2-го — с 1974 по 1980 г.; 3-й ярус был завершен в середине 1980-х гг. В настоящее время отсыпка ведется на 4-м ярусе. Три первых яруса сформированы отдельными кучами суглинков, глин, отходов мелочи и глыб известняка. Верхний ярус большей частью спланирован и представлен мелкоземом с полосами средней каменистости. Отсыпка верхнего яруса в настоящее время не закончена. Наши исследования проводились на 4-м верхнем ярусе Галкинского отвала мраморизированного известняка. Возраст формирующихся на нем растительных сообществ на момент исследования составил 20–22 года.

Отвал № 4 расположен к западу от карьера и имеет вытянутую с севера на юг форму. Его площадь 5,6 га. Отвал состоит из двух ярусов, высота нижнего 7–13 м, верхнего — 18–20 м. Склоны ярусов крутые. Засыпка 1-го яруса проводилась с 1949 по 1955 г., 2-го — с 1958 по 1960 г. Отвал представлен отдельными участками глин и суглинков с кучами глыб известняка и мелочи с дробильно-обоганительной фабрики, а также гравием из известняка. Большой частью имеет бугристый рельеф. Наши исследования проводились на открытой выровненной части 1-го яруса.

При обследовании растительных сообществ, формирующихся на верхнем ярусе отвала № 3 Галкинского мраморизированного известняка (возраст 20–22 года), было выявлено, что в них произрастает 34 вида сосудистых растений, из них 6 видов — деревья и кустарники, представленные подростом: *Salix triandra* (sp-cop₁), *S. caprea* (sp), *Betula pubescens* (sp), *Pinus sylvestris* (sp), *Populus tremula* (sol), *Picea obovata* (un). Травянистый ярус разрежен, ОПП от 50 до 85 %, преобладают такие виды, как *Poa palustris* (cop₃), *Medicago lupulina*, *Taraxacum officinale* (cop₂), *Deschampsia cespitosa* (cop₂), *Melilotus albus*, *Prunella vulgaris* L., *Leontodon autumnalis* (cop₁).

На Галкинском отвале № 4 (возраст 50–55 лет) сформировался лесной фитоценоз, в котором произрастает 55 видов растений, 17 из них — деревья и кустарники. Сомкнутость древесного яруса составляет от 0,35 до 0,6 (см. табл. 81). Основная доля в древостое принадлежит *Pinus sylvestris* (77,9 %). Взрослые особи *Pinus sylvestris* имеют средний возраст 23 года (от 20 до 37 лет), достигают высоты в среднем 8,6 м, которая варьирует от 2,5 до 13 м, диаметр ствола на уровне 1,3 м составляет в среднем 14 см, в пределах от 6 до 26 см.

Из хвойных видов кроме *Pinus sylvestris* встречаются *Picea obovata*, *Juniperus communis*. Среди лиственных пород большую долю (8,6 %) в древостое занимает *Populus tremula*, особи которой достигают высоты в среднем 4,5 м (от 0,3 до 7,0 м).

Доля *Betula pubescens* в древостое отвала составляет 3 %, взрослые особи имеют высоту в среднем 4,0 м (от 1,0 до 5,5 м). Особи *Betula pendula* малочисленны, в основном эта порода встречается в виде подроста высотой от 1,0 до 4,0 м. Единично встречаются *Populus nigra*, *Salix caprea*, всходы *Acer negundo*.

Отмечается формирование подлеска из *Sorbus aucuparia*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Salix myrsinifolia*, *Padus avium*, *Viburnum opulus*, *Amelanchier ovalis*, *Rosa acicularis*. ОПП кустарникового яруса достигает до 25 %.

На пробной площадке в среднем произрастает 246,3 особи древесных и кустарниковых видов. В целом лесной фитоценоз на Галкинском отвале характеризуется высоким индексом доминирования (индекс Симпсона) — 0,6.

Общее проективное покрытие травянистого яруса составляет 35 %. Травянистые представлены 47 видами, из них преобладают *Trifolium pratense* (cop₂ gr), *Medicago lupulina* (cop₁ gr), *Taraxacum officinale* (sp), *Dactylis glomerata* (sp), *Festuca rubra* (sp-cop₁), *Poa palustris* (sp).

Коэффициент общности видового состава Жаккара растительных сообществ, формирующихся на двух отвалах мраморизированного известняка, равен 43,5 %.

На Галкинских отвалах мраморизированного известняка было проведено изучение микоризы травянистых видов. Результаты исследований представлены в табл. 81.

Как видно из таблицы, большая часть исследованных травянистых видов имеют микоризу, доля микотрофных видов на отвале № 3 — 94,7 %, на отвале № 4 — 91,3 %. Средняя частота встречаемости микоризы 51,6 % (отвал № 3) и 71,6 % (отвал № 4). Коэффициент интенсивности микоризной инфекции на отвале № 3 — 21,5 %, на отвале № 4 — 31,2 %, микосимбиотический коэффициент фитоценоза на отвале № 3 — 20,4 %, на отвале № 4 — 28,4 %. Большая часть микотрофных видов в обоих растительных сообществах являются слабомикотрофными. На отвале № 3 два вида (10,5 %) оказались среднемикотрофными: *Erigeron acris* ($D = 2,2$), *Taraxacum officinale* ($D = 2,5$). На отвале № 4 среднемикотрофными оказались 16 видов (34,8 %): *Potentilla anserina* ($D = 1,8$), *Lathyrus pratensis* ($D = 1,9$), *Trifolium medium* ($D = 2,8$), *Vicia cracca* ($D = 2,3$), *Chamaenerion angustifolium* ($D = 2,0$), *Knautia arvensis* (L.) Coult. ($D = 3,0$), *Plantago maxima* Juss. ex Jacq. ($D = 2,0$), *Plantago media* ($D = 1,8$), *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. ($D = 2,5$), *Erigeron acris* ($D = 2,4$), *Hieracium umbellatum* L. ($D = 2,2$), *Leontodon autumnalis* ($D = 3,0$), *Taraxacum officinale* ($D = 2,0$), *Dactylis glomerata* ($D = 2,3$), *Deschampsia cespitosa* ($D = 2,1$), *Festuca rubra* ($D = 1,9$), кроме того, один вид является высокомикотрофным: *Thalictrum simplex* L. ($D = 3,6$). Не обнаружено микоризы у видов, относящихся к семействам Brassicaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Scrophulariaceae.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что формирующиеся растительные сообщества сложены в основном микотрофными видами. Доля микотрофных видов варьирует от 75 до 96,8 %. Большинство изученных микотрофных видов являются слабомикотрофными, что характерно для растительных сообществ, формирующихся на техногенных объектах Среднего Урала (Лукина, 2007; Лукина, Глазырина, 2006). Показатели микотрофности на изученных объектах ниже, чем в естественных растительных сообществах (Селиванов, 1981). Сравнение показателей микотрофности на разновозрастных участках отвалов Сухореченского доломитового, Евстюнинского железорудного месторождений и Галкинских отвалов мраморизированного известняка показало, что с увеличением возраста формирующихся на них растительных сообществ происходит рост доли микотрофных видов и увеличиваются показатели микотрофности видов. Показатели микотрофности на Галкинских и Сухореченском отвалах выше, чем на Евстюнинском, это, на наш взгляд, связано с карбонатностью пород (Гельцер, 1968).

Таким образом, формирование растительности на отвалах нарушенных земель горнодобывающих предприятий является одним из частных случаев первичных сукцессий. Согласно классификации А. П. Шенникова (1964), оно может рассматриваться как один из вариантов сингенетических и одновременно эндозоогенетических смен природной растительности (изменения экологических условий местообитания жизнедеятельностью самих ценозов) при зарастании твердых или рыхлых горных пород.

Изучение лесных фитоценозов, формирующихся на различных субстратах ряда промышленных предприятий, анализ процессов их формирования выявили влияние зонально-климатических условий на их структуру, строение и функциональное устройство.

Отмечен устойчивый рост фиторазнообразия с увеличением возраста растительных сообществ и углубление процесса сильватизации на всех изученных отвалах.

Процесс сильватизации сопровождается усложнением структуры фитоценозов, увеличением числа древесных видов, внедрением в их состав кустарничков и полукустарничков, характерных для бореальной зоны. Ценопопуляционный анализ таких видов, как *Pyrola rotundifolia* и *Orthilia secunda*, показал, что на всех изученных техногенных объектах ценопопуляции данных видов являются нормальными, т. е. способными к самоподдержанию. Морфологические показатели особей приближаются к показателям данных видов с естественных местообитаний (Зуева, 2006; Романова, Ведерникова, 2004; Таршис, 1985, 1990а, б; 2005а, б). Изучение функциональной структуры формирующихся фитоценозов (на примере микоризообразования) показало, что большинство исследованных видов являются микотрофными. Показатели микоризы зависят от свойств субстрата и от возраста формирующихся растительных сообществ.

2.5. Редкие и исчезающие виды на промышленных отвалах

Структура интродуцированной ценопопуляции *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb. в Коркинском угольном карьере

Сохранение биологического разнообразия Земли — одна из важных проблем современной биологии (Горчаковский, Степанова, 1994а; Конвенция..., 1992).

При антропогенном прессинге в первую очередь исчезают эндемичные виды. Обычно эндемики узко специализированы, приспособлены к

произрастанию в строго определенных условиях среды. Многие эндемики существуют в форме малых популяций. Изменение или разрушение занятых ими биотопов приводит к вымиранию таких видов, а освободившиеся экологические ниши занимают синантропные виды с обширным ареалом.

В конечном счете синантропизация приводит к весьма глубоким преобразованиям растительного мира: обеднению генетических ресурсов, постепенному стиранию самобытных исторически обусловленных региональных черт флоры и растительности, уменьшению флористического богатства и регионального экологического разнообразия растительных сообществ.

Упрощение флористического состава и унификация растительности неизбежно сопровождаются снижением ее устойчивости по отношению ко всякого рода внешним воздействиям (Горчаковский, Шурова, 1982).

Осуществление мер по охране редких и исчезающих растений возможно лишь на основе знания их распространения, экологических особенностей, жизненной стратегии, реакции на воздействие природных и антропогенных факторов (Горчаковский, Зуева, 1993).

Ряд редких видов неплохо приживаются в техногенных неозокотопах и таким образом увеличивают свой ареал (Князев, 1984, 1989, 1990; Коробейникова, Минеева, 1985).

Для изучения возможности использования растений на нарушенных территориях, в частности при биологической рекультивации Коркинского карьера, в 1980 г. были высеяны семь видов (*Dianthus uralensis* Korsh., *Cerastium igoschnae* Pobed., *Minuartia helmii* (Fisch. ex Ser.) Schischk., *Cerastium krylovii* Schischk. et Gorczak., *Minuartia krascheninnikovii* Schischk., *Dianthus acicularis*, *Gypsophila uralensis* Less.), относящихся к редким и исчезающим растениям Урала, рядками длиной по 1 м на южном борту, на глубине 64 м от дневной поверхности. Семена для посева взяты в Ботаническом саду Уральского государственного университета.

По результатам полевых обследований территории карьера через 18 лет были обнаружены четыре вида: *Dianthus acicularis*, *Dianthus uralensis*, *Minuartia helmii* и *Minuartia krascheninnikovii*. Наибольшее распространение в условиях карьера получила *Dianthus acicularis*. Произошло интенсивное расселение этого вида на площади свыше 1 га (Глазырина, 1998, 1999, 2001а, б).

Dianthus acicularis — мезоксерофильное, псаммопетрофильное растение (Карамышева, 1960). В естественных местах обитания *Dianthus acicularis* распространена прерывисто, так как тесно связана с каменистым субстратом и продуктами выветривания различных горных пород.

Местонахождения ее многочисленны на Южном Урале, где она произрастает в каменистых горных степях и на скалах (Горчаковский, Степанова, 1994б; Красная книга..., 1996).

Dianthus acicularis — многолетнее растение из сем. Caryophyllaceae. Vegetативные особи ее достигают высоты 2–6 (10) см, генеративные — 15–20 см и более. По жизненной форме И. В. Борисова (1964) относит данный вид к травянистым подушковидным растениям, а П. Л. Горчаковский и А. В. Степанова (1994б) — к стержнекорневым подушковидным полукустарникам, образующим каудекс. Для *Dianthus acicularis* характерно втягивание нижних многолетних частей побегов в почву (одно из свойств каудекса), покрытие их слоем мелкозема, мхов, лишайников и опавших листьев. Сохранение в течение нескольких лет старых отмерших листьев на вегетативных побегах способствует защите жизнеспособных почек возобновления от вымерзания и высыхания, выживанию этого растения на скалах в условиях суровых зим с маломощным снежным покровом, резкими колебаниями температурного режима и увлажнения в летний период. По жизненной стратегии изучаемый вид относится данными авторами к категории эксплерентов или R-стратегов.

На основании многочисленных литературных данных и своих исследований И. В. Борисова (1964) приводит характерные особенности подушковидных растений: 1) слабое развитие главной оси; 2) радиальное расположение основных скелетных осей; 3) регулярное многократное ветвление побегов (с акротонным усилением), носящее этажированный характер; 4) слабое и медленное одревеснение годичных побегов; 5) незначительный прирост годичных побегов, составляющий несколько миллиметров; 6) сближенное расположение побегов; 7) образование мелких листьев; 8) перезимовывание с открытыми почками, находящимися чаще всего над поверхностью почвы на небольшой высоте (хамефиты, реже нанофанерофиты); 9) сохранение главного корня в течение всей жизни, а в случае отмирания его у взрослых особей — образование придаточных корней.

Следствием совокупности перечисленных признаков являются: наличие большого количества одновременно развивающихся точек роста, компактность всего растения в целом, образование «единой» ассимиляционной поверхности.

Dianthus acicularis развивается по озимому типу (Стефанович и др., 1976).

В условиях Северного Казахстана вегетация *Dianthus acicularis* начинается в апреле. В конце мая — начале июня у нее отрастают цветоносные побеги, в середине июня происходит формирование бутонов, в

конце июня раскрываются первые цветки. Цветение растянуто на целый месяц и более (с конца июня до начала августа). В августе — сентябре происходит плодоношение, затем обсеменение и подсыхание цветоносных побегов. Перезимовывает растение с 1–3 зелеными верхушечными листьями (Борисова, 1964).

По данным Л. И. Томиловой, А. К. Мезрина (1976), в условиях Ботанического сада УрГУ (Средний Урал) при позднем сроке посева *Dianthus acicularis* отдельные растения зацветают в конце августа — начале сентября следующего года, но семена не образуются. При весеннем посеве цветение в первый год не наступает. Растения уходят в зиму в фазе плотной подушки с зелеными листьями. На второй год цветение начинается в первой декаде июня и продолжается в течение 30 дней. Семена созревают очень дружно в течение недели. Растения обильно цветут и плодоносят; в условиях культуры дают самосев. Листья полностью отмирают с наступлением осенних заморозков. Весеннее отрастание листьев на третьем году развития начинается в первых числах мая.

Исследования популяции *Dianthus acicularis* в условиях Коркинского карьера показали, что она имеет сложную пространственную, возрастную и морфологическую структуру.

Характерные стадии развития (возрастные состояния) *Dianthus acicularis* в условиях карьера были описаны М. А. Глазыриной ранее на основании своих исследований (Глазырина, 2001а) и литературных данных (Борисова, 1964; Горчаковский, Степанова, 1994б; Диагнозы и ключи..., 1980; Стефанович и др., 1976; Томилова, Мезрин, 1976; Ценопопуляции растений..., 1976).

Соотношение различных возрастных групп в популяции определяет ее способность к увеличению численности в данный момент времени и показывает, что следует ожидать в будущем. По наблюдениям П. Л. Горчаковского и А. В. Степановой (1994б), там, где исключена межвидовая конкуренция и отсутствуют экзогенные нарушения, круговорот поколений в популяции *Dianthus acicularis* осуществляется приблизительно в течение 14–15 лет. Данные заключения подтверждаются нашими исследованиями популяции *Dianthus acicularis* 18-летнего возраста в условиях Коркинского угольного карьера (группы прегенеративных (47 %) и зрелых состояний (53 %) находятся примерно в равных пропорциях).

Ценопопуляцию *Dianthus acicularis*, произрастающую в условиях Коркинского карьера, на наш взгляд, можно назвать нормальной полночленной, возрастной спектр двuverшинный, с пиками, приходящимися на прегенеративные особи (наибольший пик) и на генеративные вегетирующие особи (g_3v), т. е. особи, имеющие большую подушку без признаков

старения, что характерно для генеративных растений *Dianthus acicularis*, но без генеративных побегов.

Двувершинность проявляется и при рассмотрении отдельных трансект, как для горизонтальных мест обитания *Dianthus acicularis* (уступ), так и для вертикальных (склоновые поверхности) (рис. 27).

Данный вид распространился в карьере двумя выраженными локусами (рис. 28). Локус I является более молодым, так как семена *Dianthus acicularis* были высеяны в районе локуса II. Это подтверждается также и процентным соотношением возрастных состояний в спектрах, составленных по локусам.

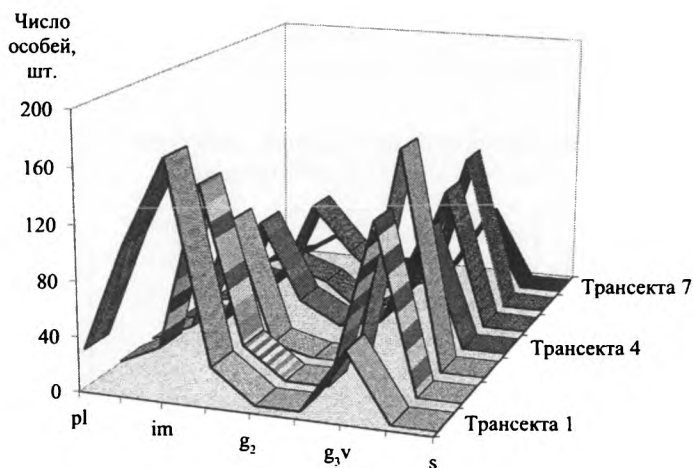


Рис. 27. Возрастные спектры *Dianthus acicularis* по трансектам

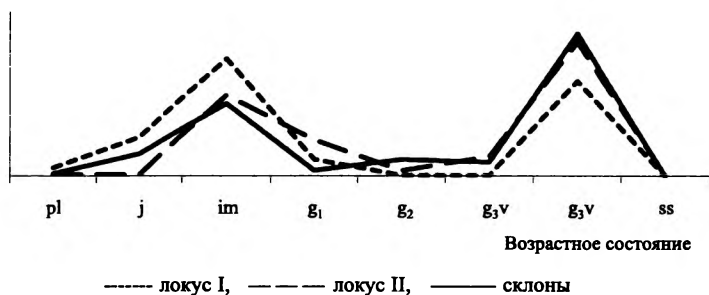


Рис. 28. Возрастной спектр *Dianthus acicularis* по локусам

При анализе пространственного распределения популяции *Dianthus acicularis* по отношению дисперсии к среднему числу особей на площадке было выявлено, что данный вид в локусах характеризуется групповым (контагиозным) распределением.

В течение двух лет наблюдений (1998 и 2000 гг.) зафиксировано значительное увеличение общего числа особей *Dianthus acicularis* на трансектах (в 1,5–4,5 раза), соответственно возрос индекс плотности, который в среднем для популяции изменился с 34,4 до 118,5 шт./м² (табл. 84). Общее количество обследованных на учетных трансектах особей возросло с 1 696 до 5 837 шт., за счет появления большого количества особей прегенеративного состояния (pl-im) – 5 015 шт., что составило 86 % от общего количества. Увеличилось число особей, относящихся к группе g_{3v}, и составило 438 (8 %), что на 32 % меньше, чем в 1998 г.

Таблица 84

**Динамика горизонтальной структуры
ценопопуляции *Dianthus acicularis***

№ трансекты	Площадки с <i>Dianthus</i> на трансекте, %		Общее число особей <i>Dianthus</i> на трансекте, шт.		Число генеративных особей на трансекте, шт.		Индекс плотности <i>Dianthus</i> на трансектах, шт./м ²		Индекс плотности всей ценопопуляции, шт./м ²	
	1998	2000	1998	2000	1998	2000	1998	2000	1998	2000
Берма*									34,4	118,5
1	70,0	83,3	384	1 716	30	83	51,1	228,8		
2	80,0	76,7	305	1 004	26	27	40,7	133,9		
3	60,0	70,0	284	851	8	11	38,0	113,5		
4	63,3	80,0	221	523	46	106	29,5	69,7		
5	50,0	50,0	187	270	43	40	24,8	36,0		
6	76,7	83,3	245	1 020	55	76	32,4	136,0		
Склон**										
7	64,7	100,0	70	453	10	28	16,5	106,6		

* Горизонтальная поверхность на глубине 64 м;

** склоновая поверхность выше и ниже данного уступа.

Происходит освоение территории карьера данным видом за счет семенного размножения. Это также подтверждают полученные результаты анализа качества семян *Dianthus acicularis*, собранных в 1998 и 1999 гг. Энергия прорастания семян составляет 62,5 % (1998 г.) и 50,75 % (1999 г.), всхожесть на 18-й день наблюдений — 87,22 и 94,75 % соответственно. Высокий процент всхожести семян является свидетельством их доброкачественности и хорошей жизнеспособности.

Массовому появлению проростков в 2000 г., по-видимому, способствовали обильные осадки в конце весны и начале лета. Число проростков увеличилось с 35 шт. в 1998 г. до 1 269 шт. в 2000 г. Число растений, находящихся в ювенильном состоянии, также увеличилось — со 147 шт. в 1998 г. до 2 032 шт. в 2000 г. Причем молодые растения *Dianthus acicularis* были найдены в большом количестве не только на уступе, т. е. на горизонтальной поверхности, но и на склоновых поверхностях.

При проведении исследований морфологической структуры популяции *Dianthus acicularis* в 1998 г. были получены следующие данные (табл. 85).

Таблица 85

**Морфологические показатели особей *Dianthus acicularis*
(по результатам картирования)**

Показатель	№ трансекты						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Длина подушки, см</i>							
X_{cp}	4,0	6,8	7,7	9,1	10,8	9,7	9,8
lim	0,5–16,0	1,5–27,5	1,0–21,3	1,5–34,1	2,1–28,5	1,3–25,3	1,5–25,3
σ	2,49	3,48	3,58	5,79	5,26	4,94	5,76
Cv, %	61,9	51,5	46,7	63,3	48,7	50,9	58,7
<i>Ширина подушки, см</i>							
X_{cp}	2,9	5,2	5,7	6,7	7,9	7,0	6,9
lim	0,3–14,0	1,0–17,5	0,9–16,1	0,8–23,5	1,0–18,5	1,0–19,8	0,5–19,7
σ	1,82	2,73	2,84	4,37	3,94	3,65	4,24
Cv, %	63,4	52,7	49,6	65,3	50,1	51,8	61,6
<i>Высота вегетативной сферы, см</i>							
X_{cp}	2,77	2,63	2,59	2,36	2,82	2,63	2,14
lim	0,3–10,0	0,9–9,8	0,8–5,0	0,7–12,4	0,6–16,1	0,8–13,2	0,5–5,0
σ	1,22	0,94	0,72	0,91	1,20	1,02	0,77
Cv, %	44,2	36,0	27,8	38,69	42,4	38,8	36,0
<i>Число генеративных побегов на особь, шт.</i>							
X_{cp}	2,2	2,7	2,4	7,9	10,9	5,4	9,2
lim	1–10	1–11	1–5	1–19	1–17	1–63	1–26

По результатам дополнительных исследований генеративных особей *Dianthus acicularis*, отобранных случайным образом со всей территории, занимаемой ценопопуляцией, проведенных в 1999 г., можно сказать, что данная группа представлена разнокачественными особями (предположительно, от молодых генеративных особей до зрелых) — количество генеративных побегов на одну особь колеблется от 1 до 120 шт. (Cv = 128,7)

(табл. 86). Эти предположения подтверждаются и при рассмотрении морфологических показателей вегетативной части генеративных особей, так, разброс между минимальными и максимальными показателями также значительный: длина подушки изменяется от 2,0 до 27,0 см ($C_v = 68,1$), ширина — от 1,0 до 51,0 см ($C_v = 78,6$), а количество ветвлений вегетативной части изменяется от 3 до 200 шт. на 1 особь при среднем показателе 42 ветвления ($C_v = 108,1$).

Таблица 86

Морфологические показатели генеративных особей *Dianthus acicularis*

Показатель	$X_{\text{ср}}$	lim	σ	$C_v, \%$
Длина подушки, см	8,57	2,0–27,0	5,839	68,1
Ширина подушки, см	5,68	1,0–19,0	4,459	78,6
Число ветвлений, шт.	42,18	3,0–200,0	45,614	108,1
Число генеративных побегов, шт.	22,14	1,0–120,0	28,488	128,7
Высота без генеративных побегов, см	5,87	1,0–11,4	2,116	36,0
Высота с генеративными побегами, см	20,55	13,0–32,0	4,117	20,0

Результаты работы показывают высокую устойчивость популяции *Dianthus acicularis* и дают основание предположить, что найдена новая экологическая ниша для данного вида (Глазырина, 2001а; Глазырина, Чибрик, 2001).

Редкие виды орхидных на техногенных объектах Урала

Производственная, хозяйственная и рекреационная деятельность человека приводит в настоящее время к значительным изменениям растительного покрова на Урале. Следствием этого является сокращение ареалов редких видов, что влечет за собой уменьшение их численности, а порой и полное их уничтожение. Вместе с тем имеются данные ряда авторов, свидетельствующие о произрастании редких видов на техногенных неозкотопах (Глазырина, 2001а; Князев, 1984, 1989, 1990; Промышленная ботаника, 1980).

Способность некоторых видов орхидных растений заселять техногенно нарушенные территории (отвалы вскрышных пород при добыче бурого угля, железной руды, строительных материалов, заросшие шлаковые и шламовые отходы, золоотвалы, гидроотвалы), а также заброшенные пашни, старые камнеломни, обочины шоссеиных дорог и железнодорожных насыпей, заросшие свалки бытового мусора отмечается в зарубежной и отечественной литературе (Быченко, 1992, 1997, 2004; Орхиден

нашей страны, 1991; Стрельникова, Манаков, 2010; Чибрик и др., 2010; Batousek, 1985; Brunton, 1986; Catling, 1983; Lee, Greenwood, 1976).

При проведении мониторинговых исследований на представленных в данной монографии техногенных объектах Свердловской области (Южный Веселовский отвал вскрышных пород Веселовского месторождения бурого угля, г. Карпинск; гидроотвал глинистых пород Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота, г. Невьянск; золоотвалы Верхнетагильской ГРЭС, г. Верхний Тагил и Среднеуральской ГРЭС, г. Среднеуральск; Сухореченский и Галкинский отвалы месторождений известняков, пос. Билимбай) было отмечено произрастание 8 видов орхидных растений, принадлежащих 6 родам, относящимся к категории редких.

Dactylorhiza incarnata (L.) Soó — европейско-западноазиатский плюризональный, болотно-луговой вид, гигрофит. Внесен в Красные книги Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа, Свердловской, Курганской, Кемеровской и других областей. Отдельные экземпляры этого вида были отмечены на глинистых полигонах и дамбе Шуралино-Ягодного гидроотвала после золотодобычи среди подроста ив и *Betula pendula* в разнотравно-донниковом фитоценозе на 4–6-й год формирования растительности.

Dactylorhiza fuchsii (Druce) Soó — европейско-сибирский, луговой, бореальный вид, гигромезофит (Горчаковский, Шурова, 1982). Внесен в Красные книги Республики Башкортостан, Республики Коми, Свердловской, Курганской, Кемеровской и других областей. Отдельные экземпляры этого вида были отмечены на глинистой дамбе и ее откосах Шуралино-Ягодного гидроотвала среди подроста *Betula pendula* в разнотравно-вейниково-донниковом фитоценозе, начиная с 8-го года формирования растительности. Там же встречен гибрид *Dactylorhiza fuchsii* × *Dactylorhiza incarnata* = *D. × kerneriorum* (Soó) Soó (Куликов, 2005).

На Южном Веселовском отвале *Dactylorhiza fuchsii* встречается в межгрядовых понижениях рассеянно и группами в 40–48-летних лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris*.

Epipactis atrorubens (Hoffm. ex Bernh.) Bess. — европейско-западносибирский, бореально-неморальный вид, опушечно-луговой и скальный, ксеромезофит, кальцефил. Внесен в Красные книги Республики Башкортостан, Республики Коми, Свердловской, Тюменской, Курганской, Кемеровской и других областей. Единичные экземпляры встречались на отвале Сухореченского известнякового карьера на сильнокаменистом субстрате в 35–45-летних разреженных лесных сообществах с присутствием *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, подроста ив.

Epipactis helleborine (L.) Crantz — европейско-западноазиатский бореально-неморальный вид, опушечно-лесной, мезофит. Внесен в Красные книги Республики Коми, Свердловской, Тюменской, Курганской, Кемеровской и других областей. Единичные экземпляры встречались на дамбе Шуралино-Ягодного гидроотвала в 10-летних разреженных разнотравно-мать-и-мачеховых сообществах с присутствием подроста *Betula pendula*.

Gymnadenia conopsea — евразийский бореально-неморальный вид, опушечно-луговой, мезофит. Внесен в Красные книги Ханты-Мансийского автономного округа, Республики Башкортостан, Свердловской, Курганской и других областей. Отмечены группы и единичные особи на возвышениях, в основании откосов гряд и в межрядовых понижениях на Южном Веселовском отвале в 40–48-летних лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris* и разреженным травянистым покровом. На Шуралино-Ягодном гидроотвале после золотодобычи группы особей произрастают в нижней части пологих откосов дамб среди подроста *Salix myrsinifolia*, *S. triandra*, *Betula pendula* в разреженных травянистых сообществах.

Listera ovata (L.) R. Br. — европейско-западноазиатский бореально-неморальный вид, опушечно-лесной, мезофит. Внесен в Красные книги Ханты-Мансийского автономного округа, Республики Башкортостан, Свердловской, Тюменской, Курганской, Челябинской и других областей. Первые экземпляры этого вида были отмечены на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС в 25-летних лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* и *B. pubescens*. Через 10 лет наблюдается увеличение площади распространения, численности популяции и ее обилия (до sol gr).

Malaxis monophyllos — голарктический бореально-неморальный вид, опушечно-лесной, мезофит. Внесен в Красные книги Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа, Республики Башкортостан, Свердловской, Тюменской, Курганской, Челябинской и других областей. Единичные экземпляры были встречены на Южном Веселовском отвале и на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС, соответственно в 48- и 25-летних лесных фитоценозах с разреженным травянистым покровом. Первые экземпляры *Malaxis monophyllos* наблюдались на глинистых полигонах Шуралино-Ягодного гидроотвала в 6-летних разреженных травянистых сообществах с подростом *Salix myrsinifolia*, *S. triandra*. В течение 10-летнего мониторинга растительности отмечалась малочисленность особей, несмотря на расселение по территории гидроотвала.

Platanthera bifolia — европейско-западноазиатский бореально-неморальный вид, опушечно-лесной, мезофит. Внесен в Красные книги Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа, Свердловской, Курганской, Кемеровской и других областей. Отмечены многочисленные группы (до 20 экз.) и единичные особи, произрастающие в межрядовых понижениях, в основании откосов на Южном Веселовском отвале в 40–48-летних лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris* и разреженным травянистым покровом. Единичные особи этого вида были встречены на золоотвалах Верхнетагильской и Среднеуральской ГРЭС в 25-летних лесных фитоценозах с доминированием *Pinus sylvestris*, *Betula pendula* и *B. pubescens*.

Общим для перечисленных объектов является длительный период формирования фитоценозов, сниженная рекреационная нагрузка, миграция редких видов семейства Orchidaceae из естественных местообитаний.

Анализ ценопопуляций *Platanthera bifolia* и *Listera ovata* на золоотвале ВТГРЭС. С 1994 г. на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС отмечалось произрастание отдельных особей редких, охраняемых на

территории Урала (III категория; Красная книга Среднего Урала, 1996; Красная книга Свердловской области, 2008) орхидных растений, таких как *Platanthera bifolia*, *Malaxis monophyllos*, и группы особей *Listera ovata* в лесном фитоценозе, формирующемся на полосах грунта.

В 2009–2010 гг. обнаружены и обследованы молодые ценопопуляции *Listera ovata* и *Platanthera bifolia* в лесном фитоценозе 30–35 лет, сформировавшемся на золе. Ценопопуляции представляют собой групповое скопление особей на площади до 120 м² каждая.

Лесной фитоценоз характеризуется довольно высокой сомкнутостью — 0,6–0,7 и сложной вертикальной структурой. В верхнем древесном ярусе доминируют мелколиственные породы, такие как *Populus tremula*, *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Salix caprea*. Хвойные породы — *Pinus sylvestris* и *Picea obovata* входят в нижний подполог. Кустарниковый ярус сложен из *Chamaecytisus ruthenicus*, *Rosa acicularis*, *Salix myrsinifolia* и *S. pentandra*, подроста *Sorbus aucuparia*, *Viburnum opulus*, *Padus avium*, высота которых варьирует от 0,7–0,8 до 3,5 м (ОПП — 15–20, местами до 30 %). Общее проективное покрытие травянистого яруса составляет 30–35 %, но в местах произрастания орхидных оно снижено до 20–25 %. Наибольшую встречаемость из травянистых растений имеют *Amoria repens* и *Trifolium pratense*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Vicia cracca*, *Pyrola media* Sw.

Моховой покров не развит, отдельные пятна приурочены к основаниям стволов деревьев.

Главным условием для благоприятного произрастания орхидных является формирование из листовенного опада горизонта А₀ на зольном субстрате, мощность которого достигает 5–6 см. Отмечено, что подземные органы растений расположены в подстилочной толще, чем крупнее (старше) особь, тем глубже, корни крупных виргинильных и генеративных особей проникают в глубину золы.

На основе морфометрических показателей надземных побегов проведено определение онтогенетического состояния особей *Listera ovata* и *Platanthera bifolia* (Диагнозы и ключи..., 1983; Онтогенетический атлас..., 2004). Общее количество особей *Listera ovata* на золоотвале ВТГРЭС составило 46 (2009 г.) и 59 (2010 г.), *Platanthera bifolia* — 34 (2009 г.) и 73 (2010 г.).

В возрастном спектре ценопопуляции *Listera ovata* в 2009 г. преобладали ювенильные (доля 80,4 % от общего числа особей) и имматурные особи (доля 10,9 %), на следующий год отмечен рост числа и доли имматурных (до 30,5 %), виргинильных (от 6,5 до 25,4 %) и молодых генеративных особей (от 2,2 до 17,0 %). Спектр характеризуется как одно-

вершинный, неполночленный, с преобладанием особей прегенеративных стадий (рис. 29).

По данным М. Б. Фардеевой и Г. Р. Исламовой (Онтогенетический атлас..., 2004), онтогенетическая структура естественных популяций *Listera ovata*, как правило, имеет правосторонний тип с преобладанием взрослых вегетативных и в большей степени генеративных особей (40–60 %), доля ювенильных и имматурных от 8 до 12 %.

В ценопопуляции *Platanthera bifolia* одновершинный возрастной спектр с высокой долей виргинильных особей (53 %) сменился на двувершинный, у которого пики роста численности приходятся на имматурные, доля которых увеличилась от 23,5 до 28,8 %, и генеративные особи с увеличением доли от 14,7 до 35,6 %.

Ценопопуляции *Listera ovata* и *Platanthera bifolia* — инвазионные, изменение их возрастной структуры характеризует первые стадии внедрения вида в фитоценоз.

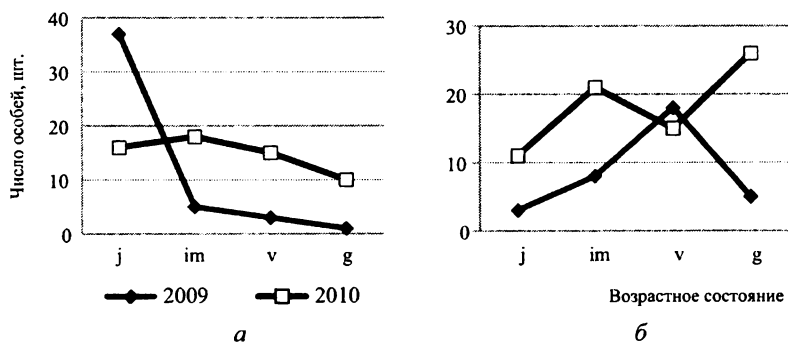


Рис. 29. Динамика возрастной структуры молодых ценопопуляций *Listera ovata* (а) и *Platanthera bifolia* (б)

Морфометрический анализ особей *Listera ovata* показал, что ювенильное растение на золоотвале имеет два развитых мелких ланцетных листа, нижний лист по длине и ширине листовой пластинки отличается от верхнего незначительно. Длина нижнего листа в среднем составляет 3,9 см ($C_v = 34\%$), ширина — 1,9 см ($C_v = 40\%$), длина и ширина верхнего листа соответственно — 3,7 см ($C_v = 35\%$) и 1,75 см ($C_v = 42\%$) (табл. 87). Все показатели имеют высокие коэффициенты вариации, что указывает на неоднородность особей этого возрастного состояния. По сравнению с ювенильными особями из естественных местообитаний, длина листьев которых составляет 5–5,5 см, ширина нижнего листа 2,5–3,5 см, ширина верхнего листочка 2–2,5 см, ювенильные особи на зо-

лоотвале имеют меньшие морфометрические показатели (Онтогенетический атлас..., 2004). Особи старших возрастных состояний *Listera ovata* более однородны и в целом достигают тех же размеров по сравнению с особями с естественных местообитаний.

Морфометрический анализ особей *Platanthera bifolia* показал, что ювенильное растение имеет один узколанцетный лист, длина которого составляет в среднем 4,6 см ($C_v = 22\%$), ширина 1,1 см ($C_v = 30\%$), у имматурной особи длина листа 6,85 см ($C_v = 12\%$), ширина 2,2 см ($C_v = 23\%$) (табл. 88).

Виргинильные особи имеют розеточный побег с двумя почти супротивными листьями, но довольно часто встречаются особи с одним листом. Нижний по стеблю лист продолговато-эллиптический, его длина составляет в среднем 10,8 см ($C_v = 22\%$), ширина 3,8 см ($C_v = 24\%$). Верхний лист короче, его размеры сильно варьируют: длина составляет в среднем 7,6 см (в пределах от 4,1 до 12,0 см, $C_v = 42\%$), ширина 1,9 см (в пределах от 0,8 до 4,4 см, $C_v = 79\%$). Количество жилок от 10 до 14.

Генеративные растения высотой в среднем 37,5 см (варьирует от 20 до 61 см), с двумя, иногда тремя листьями. Размеры листьев сильно варьируют. Нижний лист эллиптический, длиной в среднем 12,0 см ($C_v = 31\%$), шириной 4,3 см ($C_v = 26\%$), длина и ширина верхнего соответственно равны 11 см ($C_v = 38\%$) и 3,3 см ($C_v = 45\%$). Соцветие имеет длину в среднем 11,8 см ($C_v = 45\%$), состоит из 20 цветков (от 10 до 40 на соцветии). Количество жилок 12–14. В целом все морфометрические показатели генеративных особей имеют высокие коэффициенты вариации, что указывает на неоднородность особей этого возрастного состояния.

Ювенильные и имматурные особи *Platanthera bifolia* на золоотвале соответствуют размерам особей из естественных мест обитаний. У виргинильных и генеративных растений листья несколько длиннее и шире, имеют больше жилок (Диагнозы и ключи..., 1983). Возможно, это является результатом адаптации вида к затененным условиям произрастания.

Таким образом, в таежной зоне освоение техногенных субстратов орхидными в первую очередь связано с формированием на них лесных фитоценозов с преобладанием мелколиственных древесных пород. По мере накопления листового опада создаются благоприятные условия развития как для грибов-симбионтов, с которыми орхидные связаны большую часть своей жизни, так и самих орхидных растений, имеющих

Статистическая характеристика морфологических показателей особей *Listera ovata*

Показатель	Ювенильные			Иматурные			Виргинильные			Генеративные		
	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %
Высота до листьев, см	$5,76 \pm 0,28$	2,0–8,5	30	$7,9 \pm 0,29$	6,5–10,0	13	$10,94 \pm 0,8$	8,5–14,5	20,7	$12,88 \pm 1,1$	10,0–15,0	14
Длина верхнего листа, см	$3,68 \pm 0,21$	0,8–5,8	35	$6,81 \pm 0,13$	6,0–7,5	7	$8,33 \pm 0,36$	7,0–10,0	12	$9,48 \pm 0,74$	8,2–11,0	16
Ширина верхнего листа, см	$1,75 \pm 0,12$	0,4–3,0	42	$3,47 \pm 0,17$	2,7–4,6	17	$4,23 \pm 0,3$	3,0–5,5	20	$5,93 \pm 0,08$	5,7–6,0	16
Длина нижнего листа, см	$3,9 \pm 0,22$	0,9–6,0	34	$6,85 \pm 0,14$	6,0–7,5	7	$8,1 \pm 0,22$	7,0–9,0	8	$10,3 \pm 0,7$	8,8–11,5	14
Ширина нижнего листа, см	$1,91 \pm 0,13$	0,6–3,4	40	$3,46 \pm 0,12$	2,9–4,4	12	$4,4 \pm 0,22$	3,4–5,0	14	$5,5 \pm 0,12$	5,3–5,7	4
Высота, см	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$52,13 \pm 3,57$	45,0–59,0	14
Длина соцветия, см	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$17,88 \pm 2,18$	14,0–23,0	24
Количество цветков, шт.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$29,8 \pm 4,9$	19–42	33

Таблица 88

Статистическая характеристика морфологических показателей особей *Platanthera bifolia*

Показатель	Ювенильные			Иматурные			Виргинильные			Генеративные		
	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %	$X_{cp} \pm m$	lim	Cv, %
Высота, см	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$37,45 \pm 2,18$	20–61	29
Длина нижнего листа, см	$4,63 \pm 0,39$	3,6–6,0	22	$6,85 \pm 0,24$	5,5–8,0	12	$10,83 \pm 0,64$	7,5–16,4	22	$12,03 \pm 0,73$	5,4–22,8	31
Ширина нижнего листа, см	$1,1 \pm 0,12$	0,6–1,6	30	$2,18 \pm 0,14$	1,4–2,9	23	$3,79 \pm 0,24$	2,3–5,5	24	$4,26 \pm 0,22$	2,1–7,1	26
Длина верхнего листа, см	–	–	–	–	–	–	$7,58 \pm 1,42$	4,1–12,0	42	$10,9 \pm 0,83$	4,2–21,6	38
Ширина верхнего листа, см	–	–	–	–	–	–	$1,88 \pm 0,66$	0,8–4,4	79	$3,28 \pm 0,23$	1,3–6,5	36
Длина соцветия, см	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$11,8 \pm 2,37$	6,0–18,0	45
Количество цветков, шт.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$20,04 \pm 1,32$	10,0–40,0	32

низкую способность к конкуренции с другими растениями, особенно с крупнотравьем.

Для перечисленных объектов характерны очень бедный доступными растениям элементами минерального питания субстрат, начальные стадии формирования лесных фитоценозов в процессе самозарастания, сниженная конкуренция.

Проведенные исследования ценопопуляций орхидных растений на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС выявили групповое контагиозное размещение по территории особей *Platanthera bifolia* и *Listera ovata*.

Инвазионные ценопопуляции *Listera ovata* и *Platanthera bifolia* находятся в стадии становления и, учитывая небольшой период их формирования, имеют вероятные перспективы развития в нормальные.

3. ДИНАМИКА ФИТОЦЕНОЗОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ УРАЛА

Исследования по экологическим основам биологической рекультивации нарушенных земель научным коллективом лаборатории ведутся свыше 45 лет.

На Урале имеются разновозрастные техногенные образования (от десятков до сотен лет) с восстановленными растительным и почвенным покровами как при естественном их восстановлении, так и при биологической рекультивации, проведенной по нашим рекомендациям свыше трех-четырех десятков лет назад.

В настоящее время впервые появилась уникальная возможность обобщить результаты длительного мониторинга формирующихся фитоценозов на разнотипных отвалах при самозарастании и оценить 30–40-летний опыт их биологической рекультивации в разных зонально-климатических условиях (южная подзона, таежная и лесостепная зоны).

Формирование фитоценозов на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС (ВТГРЭС). В вегетационный период 2000 г., через 35 лет после начала рекультивационных работ, на золоотвале ВТГРЭС наблюдался довольно разнообразный спектр экотопов, которые обусловили своеобразие биотопов и формирующихся растительных сообществ. Существенное влияние оказывали на этот процесс и рекультивационные мероприятия. Исходные экотопы можно охарактеризовать по следующей схеме (Чибрик, Кравченко, 1990):

I. Нерекультивированная территория:

Ia — исходный экотоп — сухой золоотвал, «чистая» зола;

Iб — умеренное переувлажнение, «чистая» зола, благоприятные условия за-
носа семян;

Iв — остаточные понижения, постоянно или периодически затопляемые во-
дой (талые воды, фильтрация из золоотвала и др.).

II. Первично рекультивированная территория с полосным нанесением грунта:

IIa — зола с нанесением грунта и посевом многолетних трав;

IIб — зола с нанесением грунта;

IIв — «чистая» зола (пространства между полосами с грунтом).

III. Вторично рекультивированная территория: раскорчевка кустарников,
сплошное нанесение слоя торфа, посев многолетних трав.

Эко-тип		Возраст, лет			
		5		10	
I	а	Экотопическая бескишечная или разнотравная растительная группировка (ЭГ)		Простая растительная группировка (ПГ)	→→
	б	ЭГ: – водоросле-во-моховая; – бескишечная; – разнотравно-злаковая	ПГ: – разнотравно-злаковая; – злаково-разнотравная	Сложная растительная группировка (СТ): – злаковая; – разнотравно-злаковая; – бобово-злаковая	→→→→
в				Одиночные островки растительных группировок гидрогифитного типа	→→
II	а	Культур-фитоценоз + сорняки-апофиты	СТ: – высокотравно-злаковая; – разнотравно-злаковая с большой долей культурных видов	Разнотравно-злаковый фитоценоз с подростом древесных	→→
	б	ПГ: – злаково-разнотравная с древесными	СТ: – разнотравно-злаковая; – злаково-разнотравная со всходами и подростом деревьев и кустарников	Лесной фитоценоз: заросли древесных со слабо выраженным травянисто-кустарниковым ярусом	→→
в		ЭГ: – разнотравная	ПГ: – разнотравная; – разнотравно-злаковая; – всходы древесных	СТ: – разнотравная со всходами древесных; – разнотравно-злаково-красноовсянищевая; – массовые всходы и подрост древесных	→→
					Заросли лиственных пород со слабо выработанным травянисто-кустарниковым ярусом, сильной замшелостью (Ф)

Рис. 30. Схема формирования фитоценозов на золоотвале ВПГЭС:

ЭГ – экологическая растительная группировка (проектные показатели поверхности золотвала растениями 0,1 %);

ПГ – простая растительная группировка (0,1–5 %); СТ – сложная растительная группировка (6–50 %); Ф – фитоценоз (более 50 %)

Схема формирования фитоценозов на золоотвале ВТГРЭС в зависимости от экотопа приведена на рис. 30.

Формирование фитоценоза мы понимаем как развитие растительной группировки от стадии поселения отдельных экземпляров до группировки с определенной степенью сомкнутости и ясно выраженными фитоценоотическими отношениями независимо от динамического статуса фитоценоза (Курочкина, Вухрер, 1987).

В формировании сообществ на нарушенных промышленностью землях с достаточно интенсивным процессом самозарастания выделяются следующие стадии сингенеза: экотопическая группировка (проективное покрытие 0,1 %); простая группировка (0,1–5 %); сложная группировка (6–50 %); фитоценоз (проективное покрытие более 50 %) (Чибрик, Елькин, 1991).

В нашем случае формирование фитоценоза — это и процесс заселения растениями незанятых территорий (Миркин, Розенберг, 1983), которые изначально лишены диаспор растений. Формирование растительности на подобных территориях идет по типу первичных сукцессий по А. П. Шенникову (1964). Это автогенная сукцессия формирования растительности на новых субстратах, где растительность ранее отсутствовала (Миркин, 1985).

Схема формирования фитоценозов на золоотвале в зависимости от экотопа построена на основе реальных датированных геоботанических описаний, проведенных на данных экотопах. Фитоценоз рассматривается в качестве основного автотрофного компонента формирующейся техногенной экосистемы в условиях золоотвалов.

На «чистой» золе (Ia) через 35 лет сформировались заросли *Calamagrostis epigeios* с незначительным участием других видов с рединой *Salix* sp. и *Betula* и очень густые заросли ив (6 видов) с примесью *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Populus tremula*. При благоприятном увлажнении (Iб), что к тому же обеспечивает стабильность субстрата, формирование сообществ ускоряется, и в течение 10 лет сформировались на десятках гектаров щучковый луг (доминант *Deschampsia cespitosa*), закустаренный щучковый луг и клеверно-мятлико-щучковый луг (*Amoria repens*, *Poa trivialis*). Везде наблюдается развитие мохового покрова (20–40 % ОПП). Около заполненных водой понижений (Iв) формируются разные варианты прибрежной растительности.

На первично рекультивированных территориях на полосах с нанесенным грунтом при посеве многолетних трав (IIa) в первые годы частично осуществляется их скашивание. В результате за 30 лет сформировались разнотравно-злаковые и разнотравные растительные сообщества с

рединой *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*. Деревья, разрастаясь, усиливают свою эдификаторную роль. На полосах с грунтом без посева трав (IIб) формирование лесных фитоценозов ускоряется, так как исключается скашивание, замедляются задержание поверхности и формирование травянистых сообществ лугового типа.

Следует учесть, что завезенный грунт содержал определенный набор диаспор видов именно лесных фитоценозов. В результате формируется смешанный лес с доминированием *Pinus sylvestris*, реже — с преимуществом *Betula pendula*.

На «чистой» золе между полосами с нанесением грунта с задержкой в 5–10 лет формируются лесные сообщества из сложного соотношения лиственных пород — берез с примесью ив и *Populus tremula*. Травянисто-кустарниковый ярус слабо выработан. Вероятно, формирование этих фитоценозов связано с поступлением семян с соседних, ранее заросших полос с грунтом. Естественно, что происходит улучшение свойств золы за счет попадания грунта с полос в результате водной и ветровой эрозии, как и обратный процесс — занос золы ветром на полосы грунта.

На вторично рекультивированной территории проведены раскорчевка деревьев и кустарников, сплошное нанесение слоя торфа, посев многолетних трав. При использовании комплекса органических и минеральных удобрений созданы продуктивные пастбищно-сенокосные угодья. Оценка опыта биологической рекультивации (лето 2000–2005 гг.) показала, что вторично рекультивированная территория ежегодно расширяется и составляет к настоящему времени более 60 га продуктивных сенокосных угодий (урожай сена 10–25 ц/га).

Проведенные наблюдения дают возможность оценить опыт биологической рекультивации золоотвала с полосным нанесением грунта и посевом многолетних трав. При этом достигается стабилизация зольного субстрата за счет полос, что приводит к уменьшению и даже прекращению пыльных бурь.

Важным моментом следует признать некоторое улучшение водно-физических и агрохимических свойств золы за счет смыва грунта с полос на межполосное пространство с «чистой» золой. Посев многолетних трав и последующее их скашивание ускоряют озеленение полос с грунтом, но задерживают вселение деревьев и кустарников и формирование древесного яруса формирующихся лесных фитоценозов.

Биологическая рекультивация золоотвала с полосным нанесением грунта первоначально (3–5 лет) выполняет санитарно-гигиеническую роль. В последующем, как показали исследования 2000–2005 гг., наблюдается интенсивное формирование лесных фитоценозов и при вторичной

рекультивации возможно создание продуктивных кормовых угодий, но с оценкой качества получаемой продукции.

Сходные этапы формирования фитоценозов просматриваются на полигонах, образованных при добыче золота на Шуралино-Ягодном месторождении (рис. 31), расположенных в одинаковых зонально-климатических условиях (таежная зона, подзона южной тайги) (Филимонова, 2005).

Анализ результатов по формированию фитоценозов в лесостепной зоне проведен на примере золоотвалов ЮУГРЭС (рис. 32).

Изучение трансформации растительности на золоотвалах ЮУГРЭС, расположенных в лесостепной зоне, показало, что после проведения биологической рекультивации сразу формируются продуктивные и хозяйственно ценные сообщества с преобладанием высеянных видов: *Onobrychis arenaria*, *Medicago media*, *Bromopsis inermis*. Отсутствие ухода за посевами, а также их вытаптывание и скармливание скотом при выпасе ускорили распад и деградацию культурфитоценозов. В дальнейшем за 10–15 лет произошло постепенное вытеснение культурных видов (особенно бобовых) дикорастущими. Подсеянный позднее, через 10 лет после первого посева, *Agropyron cristatum* успешно расселяется по золоотвалу, частично внедряясь в сообщества на «чистой» золе. Формирование растительных сообществ идет по пути сближения с луговыми степями.

При изучении формирования растительности на золоотвалах ЮУГРЭС были выделены следующие экотопы: 1 – «чистая» зола с покрытием слоем черноземной почвы и посевом многолетних трав; 2 – «чистая» зола без покрытия (Лукина, 2002).

Исследования, проведенные через 35 лет после биологической рекультивации, показали, что на рекультивированном золоотвале сформировался разнотравно-полынно-злаковый фитоценоз. Из злаков преобладают *Agropyron cristatum*, *Elytrigia repens* и *Bromopsis inermis*, местами сохранившийся за счет вегетативного размножения, из разнотравья — *Euphorbia virgata*, *Artemisia dracunculus*. Трансформация культурфитоценозов сопровождается их ксерофитизацией и идет по пути формирования травянистых сообществ, приближающихся к луговым степям с преобладанием *Agropyron cristatum* (на части золоотвала, не подверженной выпасу) и *Poa pratensis*.

На участках самозарастания «чистой» золы формирование растительного покрова задерживается на 10–15 лет, идет медленно — от простых несомкнутых разнотравно-полынных растительных группировок, в состав которых входят наиболее устойчивые к произрастанию на зольном субстрате виды местной флоры (*Artemisia dracunculus*, *A. campestris*, *Achillea nobilis*, *Potentilla bifurca* L. и др.), среди которых много сорно-

Экотоп	Возраст, лет																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Водоём	Гидрофитная растительность																
Водоём	Гидрофитная и гидрофитная растительность																
Берега водоёмов	Гидрофитная и гидрофитная растительность																
Полигоны	Гидрофитная и гидрофитная растительность																
Дамбы внешние	ПГ (ОПП 5–10 %). Мать-и-мачеха, разнотравье	СТ (20–30 %) Мать-и-мачеха, мать-и-ивы															
	ПГ (5 %). Маревые	СТ (20–25 %) Разнотравье, бобовые, мать-и-мачеха															
Дамбы внутри-тренин- – без посева	ПГ (5 %)	СТ (20–25 %) Разнотравье, мать-и-мачеха															
	– с посевом трав	Культурфитоценозы															
Нансение торфа на глину без посева	ЭГ (< 1 %)	ПГ (1–5 %). Бобовые															
	– с посевом трав	СТ (10–35 %). Бобовые, всейник, разнотравье															
Запасоченные участки	СТ (40–45 %)	ФТ (85–90 %). Бобовые, разнотравье, подпрост ив, березы, осины															
	– с посевом трав	ФТ (85–90 %). Бобовые, всейник, разнотравье															

Рис. 31. Этапы формирования фитоценозов на полигонах при золотодобыче:

ЭГ – экотопическая группировка; ПГ – простая группировка; СТ – сложная группировка; ФТ – фитоценозы травянистые; ФК – фитоценозы кустарниковые; ФЛ – фитоценозы лесные; ОПП, % – общее просективное покрытие

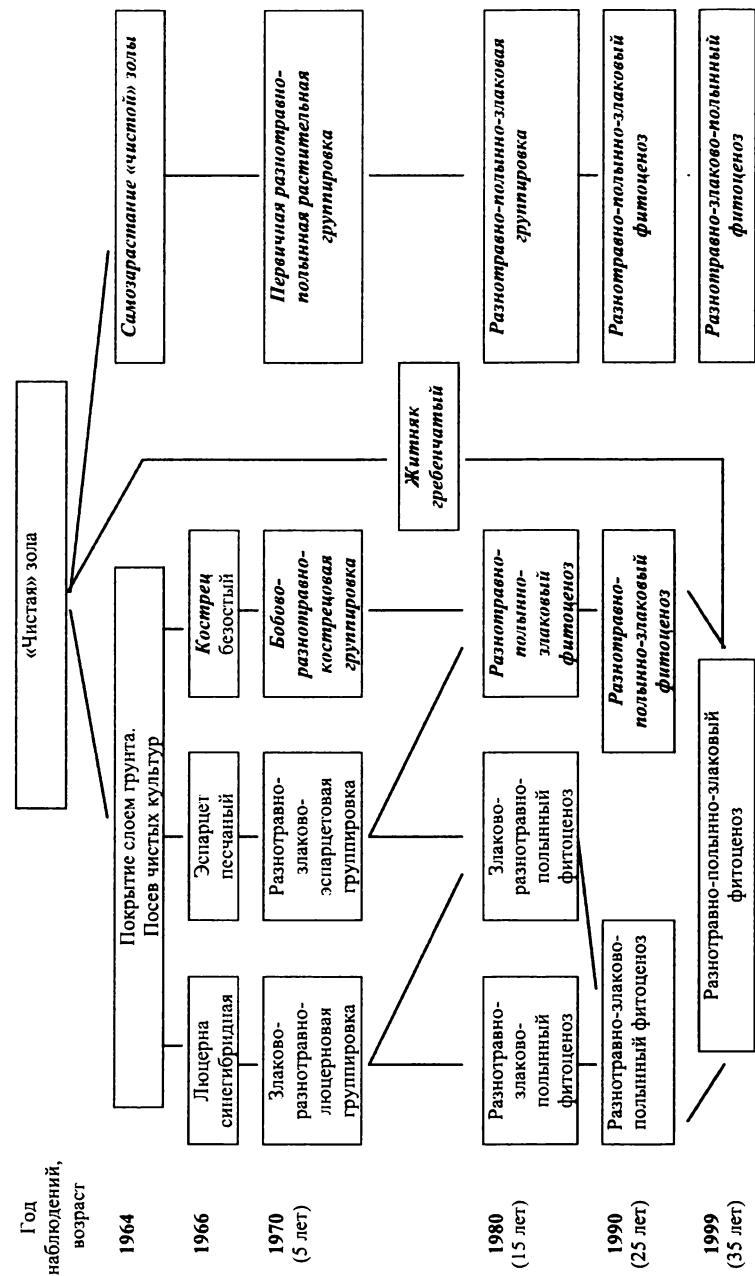


Рис. 32. Схема формирования фитоценозов на золоотвалах ЮУГРЭС в зависимости от экотопа

рудеральных (*Artemisia absinthium*, *Berteroa incana*, *Erysimum cheiranthoides* L.), к более сложным по видовому составу разнотравно-полынным фитоценозам.

Через 35 лет на «чистой» золе формируется разнотравно-полынно-злаковый фитоценоз с преобладанием *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., *Poa pratensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Artemisia dracunculus*.

Сравнение одновозрастных исследованных растительных сообществ показало, что на золе сформировались обедненные по видовому составу, разреженные и менее ценные в хозяйственном отношении растительные сообщества, чем на золе с покрытием почвой.

Схема формирования растительных сообществ на нарушенных землях открытых угольных разработок Челябинского угольного бассейна (ЧУБ, лесостепная зона) разработана с учетом эдафических условий экотопа. Подробная характеристика пород и их классификация по степени пригодности для биологической рекультивации и, следовательно, для произрастания растений приведены ранее (Чибрик, 2003). Согласно ГОСТу 17.5.1.03-86, выделяются следующие группы пород: потенциально плодородные, малопригодные (нетоксичные, но бедные элементами питания) и непригодные по химическим (сильное засоление и кислотность) и физическим (сильно каменистые) свойствам. Флористический состав и динамика формирующихся сообществ в значительной степени определяются условиями местообитания, и в первую очередь эдафическими.

Длительный мониторинг формирования растительности (более 50 лет) позволил составить обобщенную схему этого процесса (Глазырина, 2002) для нарушенных земель ЧУБ в зависимости от свойств субстрата (рис. 33), из которой следует, что фитоценозы в этих специфических условиях являются весьма динамичными биологическими системами. Лишь на наиболее благоприятном субстрате (малопригодные породы с примесью потенциально плодородных пород) можно отметить некоторую устойчивость фитоценозов с доминированием *Calamagrostis epigeios* по флористическому составу и структуре в период с 20 до 50 лет. Параллельно на части этих территорий идет процесс формирования групп лесных фитоценозов аллейного и паркового типа, что ведет к нарушению устойчивости травянистых фитоценозов. Под пологом леса идет сильная трансформация (сильватизация) травянистого яруса.

Фитоценозы техногенных ландшафтов, формирующихся в процессе самозаращания, — результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий: чем они благоприятнее, тем ближе к зональному типу формирующиеся фитоценозы. Флористический состав формирующихся сообществ в значительной степени определяется условиями местообитания, в первую очередь эдафическими.

Группы природности пород	Свойства субстрата	Возраст участков, лет				
		1-5	6-10	11-20	21-30	30-40
Непригодные	Сильнокислый и засоленный	Растительность отсутствует				
	Кислый и слабокислый, сильнозасоленный	Разнотравно-злаково-кошневые растительные группировки (РЗК)				
Непригодные с примесью малопригодных		Злаково-разнотравные и разнотравные растительные сообщества				
	Малопригодные с примесью непригодных	Разнотравно-злаково-кошневые растительные группировки	Единичные деревья и кустарники (береза, осина, ива)			
		Злаково-разнотравные и разнотравные растительные группировки галофитного типа	Разнотравно-злаковые и злаково-разнотравные растительные сообщества			
		РЗК	Единичные деревья и кустарники; лесные фитоценозы аллейного и паркового типа (береза, осина, ива)			
Малопригодные с примесью потенциально плодородных		Злаково-разнотравные и разнотравные растительные группировки	Злаково-разнотравные растительные сообщества			
		Разнотравно-злаково-вейниковые растительные сообщества (I, II, III, IV)				
		Единичные деревья и кустарники. Лесные фитоценозы аллейного и паркового типа (береза, осина, ива)				

Рис. 33. Схема формирования растительности на нарушенных землях ЧУБ.

I – разнотравно-вейниковые; II – разнотравно-овсяниково-вейниковые; III – разнотравно-мятликово-вейниковые;

IV – разнотравно-критезоно-вейниковые

Если рассматривать, согласно ГОСТу 17.5.1.03-86, пригодность пород и грунтосмесей, слагающих изученные отвалы, для целей биологической рекультивации, то нужно признать, что сложены они малопригодными породами с примесью непригодных. В грунтосмесях нет примеси почвы (а следовательно, диаспор растений), и формирование растительности на них в процессе самозарастания идет по типу первичных сукцессий в определении А. П. Шенникова (1964). Придерживаясь воззрения В. Н. Сукачева (1938, 1950), можно также утверждать, что это сингенетическая сукцессия. Достаточно обратить внимание на два определения. Сингенез — «процесс первоначального формирования растительного покрова, связанный с вселением (миграцией) растений на данную территорию, их отбором в процессе приспособления к ее условиям (эцезисом), затем и конкуренцией между ними из-за средств жизни» (Сукачев, 1938). «Сингенез — процесс заселения территории растениями, процесс борьбы между ними за территорию и средства жизни и процесс сживания растений и формирования взаимоотношений между ними — сингенетические сукцессии» (Сукачев, 1950).

Конечно, поселившиеся растения оказывают влияние на субстрат: идет накопление в верхних слоях С, N, доступного К, наблюдаются и другие изменения, связанные с начальными процессами почвообразования (Колесников и др., 1976). Все же следует признать, что изменение растительности, по крайней мере в течение первых двух-трех десятилетий на отвалах ЧУБ, определяется миграцией, отбором в процессе приспособления к своеобразным условиям отвалов и конкуренцией, причем процесс заселения отвалов, подобных изученным, длится 1–3 года. Чаще всего преимущество получают виды с интенсивным семенным размножением и имеющие приспособления для быстрого распространения плодов и семян (*Kochia scoparia* (L.) Schrad., *Salsola collina*, *Erucastrum armoracioides* (Czern. ex Turcz.) Cruchet и др.). В последующие годы преимущество получают многолетники с интенсивным вегетативным размножением, наблюдается, а чаще всего и преобладает процесс сживания, что приводит к доминированию сильных эдификаторов. На изученных отвалах ЧУБ это *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Poa pratensis*, в ряде фитоценозов деревья — *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea* и др.

Естественно, формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях идет под прямым воздействием зонально-климатических условий, косвенно проявляются они через влияние зональной растительности как источника заноса диаспор. При формировании фитоценозов в техногенных ландшафтах наблюдается и некоторое своеобразие, связанное со спецификой конкретных экологических условий.

Вероятно, здесь находят отражение отдельные элементы антропогенного изменения растительного покрова регионов (Горчаковский, 1979), но в условиях отвалов эти процессы ускоряются и обостряются.

На изученных отвалах следует отметить два момента. В начале 60-х гг. XX в. на территории г. Коркино наблюдались единичные растения и куртины *Hordeum jubatum*. В последующие годы имело место интенсивное внедрение этого вида на нарушенные открытыми угольными разработками земли. В 1972 г. этот вид еще не играл заметной роли в растительных сообществах на отвалах и не отмечен в публикациях по данным того периода (Колесников и др., 1976; Чибрик, Елькин, 1990). Через 17 лет на территории Коркинских отвалов в 12 из 33 описанных разновозрастных сообществ *Hordeum jubatum* доминировал, отмечен же был в 23 описаниях. В описанных в 1972 г. сообществах на Коркинских отвалах отсутствовал *Acer negundo*, который в 1989 г. получил довольно широкое распространение, отмечен практически во всех описаниях.

Следовательно, если принять эволюцию растительности в понимании Б. М. Миркина (1985), на изученных отвалах (да и на других) наблюдается проявление этого процесса. Создается впечатление, что *Hordeum jubatum*, сильно размножившись вне конкуренции на свободных от растений территориях нарушенных земель, активно внедряется в естественные в разной степени деградированные сообщества.

Отвалы сложены извлеченными на поверхность древними глубинными породами. Например, поверхность Коркинских отвалов сложена породами разного геологического возраста, в основной массе третичного, извлеченными с глубины 400–500 м.

П. Л. Горчаковский (1979) отмечает, что «новые субстраты заселяются растениями и становятся ареной их микроэволюции». Автор приводит обзор работ, свидетельствующих о появлении эндемиков техногенных субстратов и загрязненных мест, эдафического эндемизма.

Естественно, что в условиях техногенных ландшафтов действуют общепризнанные факторы эволюции (Тимофеев-Ресовский и др., 1969). Но некоторые из них в условиях техногенных ландшафтов могут существенно усиливаться.

М. Г. Агаев (1970) экспериментально установил повышение «уровня мутабельности интродуцентов под влиянием необычных условий существования», хотя у разных видов степень повышения мутабельности различна. Автор считает, что в природных условиях усиление мутагенеза в основном связано с процессом активной миграции растений в новые экотопы. Именно этот процесс наблюдается при заселении растениями своеобразных техногенных экотопов. Роль миграции в новые экотопы как

одну из важнейших причин усиления изменчивости растений подчеркивали и другие авторы (Куркин, 1970; Хохлов, 1947; и др.).

К. А. Куркин (1976), рассматривая закономерности процессов микроэволюции луговых фитоценозов, отмечает, что кроме общепризнанных одним из важнейших факторов эволюции является «действие самого биогеоценоза как системного целого на эволюцию включенных в него видов». Особое внимание автор уделяет создаваемому фитоценозами ценолитическому режиму замкнутости, который «системно трансформирует и видоизменяет действие всех факторов эволюции, снижает изменчивость ценопопуляций и скорость смены генеративных поколений». Т. А. Работнов (1950а) показал, что не только вегетативно размножающиеся виды, но и исключительно генеративно размножающиеся виды в луговых фитоценозах снижают скорость смены поколений. К. А. Куркин (1976) делает вывод: «...Ценолитический режим замкнутости растительного покрова не только почти полностью закрывает наиболее эффективный путь аллохтонного аутоэкологического видообразования, но резко тормозит также и автохтонное видообразование».

Таким образом, на нарушенных промышленностью землях при самозаращении наряду с активной миграцией растений длительное время отсутствует ценолитический режим замкнутости, что, следуя за мнением упомянутых авторов, может вызывать ускорение микроэволюции видов.

П. Л. Горчаковский со ссылкой на Москвина (Mosquin, 1971) указывает: «...Эволюционные механизмы, приводящие к возникновению эдафически ограниченных эндемиков, очень разнообразны. Полиплоидия, нередко имеющая место у некоторых таксонов при поселении их на необычных субстратах, несомненно, ускоряет появление эдафических эндемиков» (Горчаковский, 1979; Mosquin, 1971). Предположение о полиплоидии некоторых видов, произрастающих в Коркинском угольном карьере, сделано В. И. Пьянковым на основе изучения мезоструктуры их фотосинтетического аппарата (Пьянков и др., 1992).

Следовательно, с большой долей вероятности можно утверждать, что при изучении формирования фитоценозов на нарушенных промышленностью землях наблюдаются признаки филоценогенеза (эволюции сообществ по Б. М. Миркину) и флорогенеза. Эти вопросы имеют важное значение и требуют специального изучения.

4. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТАХ

В настоящее время все большее значение приобретает комплексное изучение растительных сообществ. Как известно, растительные сообщества обладают не только определенной пространственной структурой, но и представляют собой довольно сложные системы, складывающиеся в результате тесного взаимодействия входящих в них компонентов. Одним из таких компонентов является микориза. К настоящему времени установлено, что микосимбиотические связи имеют широкое распространение в сообществах высших растений. Микоризные грибы, увеличивая адсорбционную поверхность корня, участвуют в поглощении питательных веществ из почвы (особенно Р), улучшают снабжение водой, действуют на морфогенез корневой системы, влияют на интенсивность фотосинтеза, выполняют защитную роль в борьбе с патогенными инфекциями, участвуют в регуляции роста и развитии растения-хозяина (Селиванов, 1981; Jayachandran et al., 1992; Molecular..., 2000; Wood, 1990).

Добыча и переработка полезных ископаемых, в том числе на Урале, сопровождается нарушением почвенного покрова и образованием практически безжизненных территорий. Восстановление растительности на этих территориях происходит крайне медленно. При изменении условий окружающей среды происходит смещение равновесия в природных комплексах, нарушение консортивных связей, в частности микориз. В связи с этим большой интерес представляет изучение симбиотических связей в растительных сообществах, формирующихся на техногенных объектах, так как симбиоз играет важную роль в эволюции: повышает адаптационную способность и стабильность организмов, дает им преимущества в приспособлении к окружающим условиям среды, является одним из факторов, способствующих устойчивости растительных сообществ (Каратыгин, 1993).

Наши исследования проводились в растительных сообществах, формирующихся на промышленных отвалах, расположенных на Среднем Урале в таежной зоне, в подзонах средней и южной тайги.

Объекты исследования: шламохранилище Богословского алюминиевого завода (БАЗ), золоотвал Богословской ТЭЦ (БТЭЦ), хвостохранилище Качканарского горно-обогатительного комбината (ГОК), расположенные в таежной зоне, в подзоне средней тайги; общим для них является щелочная реакция среды (от слабо- до сильнощелочной), засоленность, кроме того, были обследованы отвал пустых пород Баженовского месторождения асбеста, терриконики угольных шахт, золоотвал Среднеуральской ГРЭС (таежная зона, подзона южной тайги). Для всех объектов характерен недостаток доступных для растений элементов минерального питания, в частности N, подвижных форм P и K. Фитоценозы на таких субстратах формируются медленно, малопродуктивны, имеют обедненный видовой состав, упрощенную структуру, находятся в прямой зависимости от свойств субстрата (Чибрик, Елькин, 1991).

Известно, что на процессы микоризообразования большое влияние оказывают эдафические факторы, такие как содержание питательных веществ, влажность почвы, pH, засоленность и др. (Селиванов, 1981).

Нами было проведено изучение эндомикоризы травянистых видов на различных техногенных субстратах

Шламохранилище Богословского алюминиевого завода (БАЗ) относится по происхождению к наливным отвалам перерабатывающей промышленности (Тарчевский, 1970). Красный шлам — отход глиноземного производства, представляет собой порошкообразную слабосцементированную массу красно-коричневого цвета. В валовом химическом составе шлама преобладают окислы металлов, большую часть из которых составляют окислы Fe и Al, содержание которых в десятки раз выше, чем в окружающей отвал почве. В нем крайне мало органических веществ, в частности гумуса, N, недостаточное количество подвижных форм P и K. Исследования показали, что шлам — сильнощелочной субстрат с высоким значением pH — 9,1–9,9. Недостаток элементов минерального питания, водный дефицит (физиологическая сухость субстрата), сульфатно-содовое засоление, токсическое действие ионов Al и Fe в щелочной среде делают красный шлам субстратом, крайне неблагоприятным для роста и развития растений. Изучение некоторых особенностей анатомо-морфологического строения многолетних злаков, выращенных на шламовом отвале Уральского алюминиевого завода, выявило угнетение и поверхностное расположение у них корневой системы и усиление признаков ксероморфизма (Дробиз и др., 1970; Половова, Шилова, 1970; Шилова, 1970).

Детально-маршрутное обследование растительности показало, что на нижних ярусах дамбы шламохранилища БАЗа преобладают подрост

и всходы древесных видов: *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Salix caprea*, *Populus tremula* (sp-сop₁), *Salix myrsinifolia*, *S. phyllisifolia* (sp). Единично встречаются всходы *Piceae obovata*, *Pinus sibirica*, *Sorbus aucuparia*. Травянистые виды угнетены, распределены группами (обилие sol gr-un). Из 28 встреченных на бермах шламохранилища травянистых видов преобладают виды семейств Asteraceae (13 видов), Poaceae (5 видов), Fabaceae (2 вида).

Для изучения микоризы были отобраны образцы корней 28 видов травянистых растений. Проведенные исследования показали, что 24 вида (85,7 %) имеют арбускулярную микоризу. Для всех исследованных растений характерна локализация микоризообразующего гриба в мезодерме, отсутствие гриба в меристематических тканях корня и в центральном цилиндре, наличие в тканях коры гиф, единичных везикул и крайне малого числа арбускул или зернистой массы. Средняя частота встречаемости микоризы (*F*) составляет 29,6 %, средняя степень микотрофности (*D*) — 0,58 балла, средняя интенсивность микоризной инфекции (*Q*) — 14,2 %. Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (*M*) — 11,7 % (табл. 89).

Таблица 89

**Характеристика показателей эндомикоризы травянистых видов
в растительных сообществах промышленных отвалов**

Показатель	Шламохранилище БАЗа	Золототвал БТЭЦ	Хвостохранилище Качканарского ГОКа
рН водный	9,1–9,9	7,7–9,9	7,4
Количество исследованных видов, шт.	28	24	13
Доля микотрофных видов, %	85,7	95,8	84,6
Средняя частота встречаемости микоризы (<i>F</i>), %	29,6	36,2	17,1
Средняя степень микотрофности растений (<i>D</i>), баллы	0,58 ± 0,14	0,59 ± 0,13	0,24 ± 0,06
Средняя интенсивность микоризной инфекции (<i>Q</i>), %	14,2 ± 2,91	12,2 ± 2,67	5,6 ± 1,31
Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (<i>M</i>), %	11,7 ± 2,30	11,7 ± 2,67	4,7 ± 1,32
<i>Микосимбиотический ряд дифференциации</i>			
Число немикотрофных видов, шт.	4	1	2
Число слабомикотрофных видов, шт.	21	21	11
Число среднемикотрофных видов, шт.	3	2	—
Число высокомикотрофных видов, шт.	—	—	—

Большинство исследованных видов являются слабомикотрофными (75,0 %). Среднемикотрофными оказались *Saussurea amara* (L.) DC.

($D = 3,01$), *Crepis tectorum* ($D = 2,09$), *Erigeron acris* ($D = 1,80$). Немикотрофные виды: *Chenopodium rubrum* L., *Erysimum cheiranthoides*, *Euphrasia pectinata* Ten., *Amoria repens*.

Золоотвал Богословской ТЭЦ (БТЭЦ) находится на окраине г. Красноурьинска. Площадь золоотвала составляет 160 га, эксплуатация его закончена в 1972 г. Характерной особенностью является своеобразный водный режим — избыточное переувлажнение за счет водотока р. Жданки по золоотвалу а также загрязнение стоками шламохранилища БАЗа, находящегося в непосредственной близости от золоотвала. Влияние шламохранилища проявляется в частности в том, что реакция среды на переувлажненных участках сильнощелочная (рН достигает 9,9). Содержание Р и К низкое. Субстрат засолен, степень засоления от слабой до сильной, качественный состав засоления можно определить как натриевое по катионам и сульфатно-содовое по анионам. Подробная агрохимическая характеристика субстрата и описание растительности золоотвала приведены в работах (Чибрик и др., 2010; Экологические основы..., 2002).

Для изучения микоризы были отобраны корневые системы 24 травянистых видов. Установлено, что средняя частота встречаемости микоризы (F) — 36,2 %, средняя степень микотрофности (D) — 0,59 балла, средняя интенсивность микоризной инфекции (Q) — 12,2 %. Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M) — 11,7 % (см. табл. 89). Подавляющее большинство исследованных видов являются слабомикотрофными (95,8 %). Среднемикотрофными видами оказались *Lactuca tatarica* ($D = 1,92$), *Cirsium setosum* ($D = 2,26$).

Более высокие показатели микотрофности у видов, относящихся к семействам Asteraceae, Rosaceae, Onagraceae. Виды сем. Роасеае имеют очень низкие показатели микотрофности. Следует отметить, что корневая система злаков на переувлажненных участках золоотвала расположена в самом верхнем слое субстрата и в прослойке мха. В корнях вида *Puccinellia distans* микориза не обнаружена, корни имеют хорошо развитые корневые волоски. Интересным оказался факт наличия хорошо развитой арбускулярной микоризы на золоотвале БТЭЦ у представителей семейств Cyperaceae (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla), Juncaginaceae (*Triglochin palustre* L.), Juncaceae (*Juncus compressus* Jacq.) Typhaceae (*Typha angustifolia* L.), так как в естественных условиях они часто бывают немикотрофными, особенно на переувлажненных участках.

В хвостохранилище Качканарского горно-обогатительного комбината (ГОКа) складированы шламы, полученные при обогащении железной руды. Шлам — бесструктурный субстрат, состоящий из рудных

(магнезит, сростки магнезита с пироксеном и амфиболом) и нерудных (пироксен, амфибол, плагиоклаз) минералов. Валовый химический анализ шлама показывает, что основу его составляют силикаты с высоким содержанием Fe и окислов Fe, в шламе в избытке содержатся Mn, Cu, Co, Zn, Ni. Шлам является слабощелочным субстратом со значением pH 7,4. Агрохимический анализ грунтов показал низкое содержание подвижного Р. Шлам обладает низкой влагоудерживающей способностью, происходит быстрое его иссушение. Растения на шламе испытывают резкий дефицит влаги (Левит, 1982).

Исследование растительности показало, что растения распространены неравномерно, наибольшее обилие ($\text{cop}_1\text{--}\text{cop}_2$) из травянистых видов имеют *Bromopsis inermis*, *Melilotus albus*, *Chamaenerion angustifolium*, *Artemisia vulgaris*. Из древесных преобладают *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, встречаются *Salix viminalis*, *S. dasyclados* Wimm.

Для изучения микоризы были отобраны образцы корней 13 травянистых видов, из них преобладают виды семейств Asteraceae (5 видов), Fabaceae (3 вида), Poaceae (2 вида). Исследования показали, что 11 из них, что составило 84,6 %, являются микотрофными. Немикотрофным оказался один вид — *Rumex confertus* Willd. Все микотрофные виды — слабомикотрофны. Средняя частота встречаемости микоризы (F) — 17,1 %, средняя степень микотрофности (D) — 0,24 балла, средняя интенсивность микоризной инфекции (Q) — 5,6 %. Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M) — 4,7 % (см. табл. 89).

Определение коэффициента биологического поглощения микроэлементов в растениях, выращенных на хвостохранилище Качканарского ГОКа, показало, что среди микроэлементов, способных оказать токсическое влияние на растения, в субстрате выявлены Ni и Zn. Установлено, что они почти не поглощаются растениями, следовательно, не накапливается их токсичность. В то же время Р, при недостатке его содержания в подвижной форме, энергично поглощается растениями (Чайкина, Обедкова, 2003). В настоящее время установлено, что микориза участвует в избирательном поглощении химических элементов, снижает поступление тяжелых металлов в побеги растений, произрастающих на почвах с высоким содержанием легкодоступных металлов (Schuepp et al., 1987).

Изучение микоризы травянистых видов на отвале Баженовского месторождения асбеста

Всемирно известное Баженовское месторождение хризотил-асбеста ($\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{OH}_8$) находится рядом с г. Асбестом в Свердловской области. Разработка месторождения ведется открытым способом. Пустые породы,

составляющие 90 % ко всей вынимаемой породе, а также отходы обога- тельных фабрик после извлечения асбеста и дробленого серпентина складировются в отвалы. Отвалы занимают обширные площади, имеют различную форму, высота отвалов до 70 м. Серпентин, составляющий основную часть отвалов, — мягкий минерал, с сильно развитой трещиноватостью и слабым водопоглощением (от 0 до 0,3 %). Химический состав вскрышных пород: MgO — 42,0 %, SiO_2 — 40,9 %, Fe_2O_3 — 3,0 %, Al_2O_3 — 1,25 % (Тарчевский, Зайцева, 1964). Породы незасоленные щелочные (рН 8,6), среднеобеспеченные подвижными фосфатами (3,7 мг/100 г пород) с низким содержанием К (2,5 мг/100 г пород), N (0,02 %) и С (0,2 %) (Махонина, 1979). Поскольку асбестовские отвалы крайне бедны элементами минерального питания, естественная растительность развивается на них крайне медленно. Немногие виды начинают поселяться только через 10–15 лет после их образования. На отвалах наблюдается запаздывание в развитии растений, незначительный рост надземной массы и образование слабой корневой системы (Тарчевский, Зайцева, 1964).

Наши исследования проводились на отвале № 3. Он законсервирован в 1981–1982 гг. Фактическая площадь отвала 242 га, общая высота 40 м. Отвал слагают вскрышные породы — серпентиниты, перидотиты, габбро, тальк-карбонатные породы, диориты, а также отходы сухого обогащения асбестовой руды.

Отбор образцов корней для изучения микоризы проводился на северном и западном участках отвала № 3, возраст которых около 30–40 лет. Анализ субстратов показал, что на северном участке отвала субстрат щелочной (рН 8,4), а на западном — нейтральный (рН 7,0).

На северном участке растительный покров практически отсутствует. Единично (обилие un) встречаются отдельные виды или группы растений. Всего было встречено 24 вида, 4 из них — деревья (высота до 1 м) и кустарники: *Pinus sylvestris* (возраст 15–18 лет), *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix triandra*. Травянистые виды относятся к семействам Asteraceae (10 видов), Poaceae (5), Brassicaceae (3), Polygonaceae и Scrophulariaceae (по 1 виду).

Западный участок отвала № 3 Баженовского месторождения асбеста резко отличается от северного. На нем идет зарастание по лесному типу. Преобладают древесные виды: *Pinus sylvestris* (сор., возраст до 30 лет, высота 1–8 м, диаметр ствола на уровне 1,3 м — от 1,5 до 24,0 см, доля в древостое 89,0 %), *Populus tremula*, *Salix triandra*, *S. caprea* (sp-сор.), *Betula pendula* (sp, высота от 0,4 до 3,0 м), *B. pubescens* (sol). Из травянистых преобладают виды семейств Asteraceae (9 видов) и Poaceae (5 ви-

дов), остальные виды относятся к семействам Rosaceae (2), Fabaceae, Caryophyllaceae, Rubiaceae и Brassicaceae (по 1 виду).

Коэффициент общности Жаккара видового состава растительных сообществ, формирующихся на северном и западном участках отвала № 3 Баженовского месторождения асбеста, равен 43,8 %.

Исследования эндомикоризы в растительных сообществах, формирующихся на Баженовском отвале асбеста, показали, что большинство травянистых растений имеют микоризу (табл. 90). Как видно из таблицы, доля микотрофных видов на северном участке составляет 76,5 %, на западном — 83,3 %. Большинство микотрофных видов являются слабомикотрофными. Среднемикотрофными на северном участке отвала оказались два вида: *Solidago virgaurea* и *Leontodon autumnalis*, на западном участке — *Solidago virgaurea* и *Fragaria vesca*.

Средняя частота встречаемости микоризы на северном участке Баженовского отвала асбеста составляет 51,8 %, на западном — 35,5 %. Средняя интенсивность микоризной инфекции на северном участке — 26,6 %, на западном — 12,9 %, микосимбиотический коэффициент фитоценоза на северном участке — 19,5 %, на западном — 10,8 % (см. табл. 90).

Таблица 90

**Характеристика показателей микоризы травянистых видов
в растительных сообществах, формирующихся на отвале
Баженовского месторождения асбеста**

Показатель	Отвал Баженовского месторождения асбеста	
	Северный участок	Западный участок
Возраст участка, лет	35–40	
pH субстрата	8,4	7,1
Число исследованных видов, шт.	20	18
Доля микотрофных видов, %	75,0	83,3
Средняя частота встречаемости микоризы (<i>F</i>), %	68,64 ± 6,81	42,60 ± 8,01
Средняя степень микотрофности растений (<i>D</i>), баллы	1,0 ± 0,2	0,5 ± 0,2
Средняя интенсивность микоризной инфекции (<i>Q</i>), %	26,1 ± 4,14	12,9 ± 3,53
Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (<i>M</i>), %	19,5 ± 4,1	10,8 ± 3,1
<i>Микосимбиотический ряд дифференциации</i>		
Число немикотрофных видов, шт.	5	3
Число слабомикотрофных видов, шт.	13	14
Число среднемикотрофных видов, шт.	2	1
Число высокомикотрофных видов, шт.	0	0

Кроме типичной везикулярно-арбускулярной микоризы в корнях многих растений были обнаружены эндофиты, представленные темно-окрашенными септированными гифами. На корнях некоторых растений они образуют рыхлый сетчатый чехол.

Изучение микоризообразования на террикониках угольных шахт Урала

При шахтной добыче угля создаются огромные конусообразные терриконики из породы, частиц угля и шлака, при этом происходит отторжение больших площадей плодородных земель. В населенных районах они значительно ухудшают санитарно-гигиенические условия местности, придают мрачный вид окрестностям, а также представляют определенную опасность для здоровья людей. Часто терриконики самовозгораются, выделяя в окружающую среду в высоких концентрациях сероводород, углекислый и сернистый газы, и тлеют десятилетиями. Горелые породы террикоников, массой в десятки миллионов тонн, на Среднем и Южном Урале до сих пор не нашли широкого рационального использования в народном хозяйстве. В связи с этим возникает проблема их рекультивации, для успешного проведения которой необходимы комплексные исследования. Одним из разделов таких исследований является изучение динамики формирования функциональных связей растительных сообществ на примере микоризообразования. Известно, что на процессы микоризообразования большое влияние оказывают экологические, в частности эдафические, условия. Была поставлена задача — изучить консортивные связи между травянистыми растениями и микоризообразующими грибами на террикониках: выявить наличие и количественные показатели микосимбиотрофизма у произрастающих на террикониках видов растений; определить долю участия микотрофных видов на различных участках террикоников в зависимости от экспозиции склона и от положения на склоне.

Агрохимические свойства пород террикоников с определением их пригодности для биологической рекультивации приводятся в работе Г. И. Махониной, Т. С. Чибрик (1978). Были обследованы терриконики Буланашского месторождения.

Буланашское угольное месторождение (БУМ) расположено в центре промышленного Зауралья, находящегося на стыке зауральских лесных и сельскохозяйственных территорий и горнопромышленной зоны Свердловской области, в равнинной части восточного склона Уральских гор, в 120 км к северо-востоку от Екатеринбурга. Шахты БУМ находятся в пос. Буланаш Артемовского района Свердловской области.

Были обследованы терриконики шахт «Буланаш 2/5» и «Буланаш 3» Буланашского месторождения (9,01 га). Примерный возраст террико-ников составляет 25–35 лет. Породы террикоников по агрохимическим свойствам нейтральные или слабощелочные, незасоленные, с низким содержанием подвижного Р, высоким — К и средним — Na. Термические явления отсутствуют. Наблюдаются эрозионные промывы.

Обследование растительности террикоников показало, что их зарастание происходит очень медленно, растения расположены неравномерно, большей частью редкими группами или грядами. Видовой состав беден. Лучше зарастают северные склоны, подножия и шлейфы, хуже — вершины, что связано с особенностями экологических условий.

Исследования микоризы травянистых видов на террикониках БУМ проводились в 1978 г. (Чибрик и др., 1980). Повторные исследования были проведены в 2003–2004 гг.

В растительных сообществах, формирующихся на терриконики шахты «Буланаш 2/5», в 2003 г. было изучено 30 травянистых видов, 17 из которых, что составило 56,70 %, оказались микотрофными (табл. 91). В 2004 г. в этих же сообществах было изучено 44 вида травянистых растений, 39 из которых (91,10 %) — микотрофны. На терриконики шахты «Буланаш 3» исследовано 20 видов травянистых растений, 17 из которых (85,00 %) содержат микоризообразующий гриб. Немикотрофными оказались некоторые представители семейств *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae* и *Lamiaceae*.

Все исследованные в 2003–2004 гг. микотрофные виды являются слабомикотрофными. Показатели микотрофности ниже, чем в естественных растительных сообществах (Селиванов, 1981).

В растительных сообществах, формирующихся на террикониках, было проведено повторное исследование зависимости коэффициента интенсивности микоризной инфекции Q от экспозиции склона (табл. 92).

Таблица 91

Соотношение между микотрофными и немикотрофными видами в исследуемых растительных сообществах

Показатель	Шахта «Буланаш 2/5»			Шахта «Буланаш 3»	
	1978*	2003	2004	1978*	2004
Число исследованных видов, шт.	33	30	45	31	20
Число микотрофных видов, шт.	22	17	41	21	17
Доля микотрофных видов, %	66,70	56,70	91,10	67,80	85,00

* Данные Т. С. Чибрик и др. (1980).

Зависимость показателей микотрофности видов от экспозиции склонов

Показатель	Шахта «Буланаш 2/5»						Шахта «Буланаш 3»			
	1978*		2003		2004		1978		2004	
	Сев.	Юж.	Сев.	Юж.	Сев.	Юж.	Сев.	Юж.	Сев.	Юж.
Исследовано видов, шт.	31	22	22	20	21	36	29	26	13	11
Число микотрофных видов, шт.	22	12	14	10	19	29	21	17	11	8
Доля микотрофных видов, %	71,0	54,5	63,0	50,0	90,0	81,0	72,4	65,4	85,0	73,0
Интенсивность микоризной инфекции (Q), %	24,5	15,2	5,2	3,3	10,3	9,5	24,9	20,8	23,7	22,5

* Данные Т. С. Чибрик и др. (1980).

Проведенные исследования показали, что доля микотрофных видов и интенсивность микоризной инфекции в растительных сообществах, формирующихся на северных склонах, выше, чем на южных. По сравнению с 1978 г. разница между значениями интенсивности микоризной инфекции на северном и южном склонах стала менее существенной. Абсолютные значения коэффициента Q в растительных сообществах на терриконике шахты «Буланаш 2/5» изменились незначительно, а на терриконике шахты «Буланаш 3» стали меньше. Одной из причин этого, на наш взгляд, может быть изменение эколого-ценотических условий, связанное с тем, что в формировании растительных сообществ на терриконике шахты «Буланаш 2/5» значительное участие стали принимать древесные виды, такие как *Pinus sylvestris* (sp–cop₁), *Salix caprea* (sol–sp), *S. myrsinifolia* (sol–sp), *Betula pendula* (sol), *B. pubescens* (sol) и др., и к постоянно существующему в условиях терриконов дефициту влаги, связанному с их конической формой, крутизной склонов и каменистостью пород, добавилось значительное затенение травянистых видов древесными, а также перераспределение влаги и элементов питания в поверхностном слое в условиях усилившейся конкуренции.

Исследования показателей микотрофности в зависимости от положения растительных сообществ на склоне, проведенные в 1978 г. и представленные в табл. 93, показывают, что микотрофность растительных сообществ резко падает по мере подъема вверх по склону терриконика. Это, на наш взгляд, связано с недостатком влаги в верхней части терриконика и с более благоприятными условиями увлажнения у подножия.

**Зависимость средней интенсивности микоризной инфекции (Q)
от положения растительного сообщества на склоне***

Объект	Местоположение на склоне	Коэффициент интенсивности микоризной инфекции (Q), %
Шахта «Буланаш 2/5»	Подножие	24,5
	Верхняя часть	16,4
Шахта «Буланаш 3»	Подножие	24,9
	Верхняя часть	17,9

* Данные Т. С. Чибрик и др. (1980).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что в растительных сообществах, формирующихся на нарушенных промышленностью землях, микориза играет важную роль, позволяя адаптироваться растениям к стрессовым эдафическим условиям. На развитие микоризы, как на элемент функциональной структуры фитоценоза, большое влияние оказывают эколого-ценотические условия.

Изучение микоризы на золоотвале СУГРЭС

Нами было проведено изучение микоризы древесных и травянистых видов на участке самозарастания «чистой» золы золоотвала Среднеуральской ГРЭС (СУГРЭС). Участок примыкает к внутренней дамбе золоотвала. На части поверхности нанесен песок.

По краю участка самозарастания на внутренней дамбе и вдоль нее в небольшом понижении рельефа произрастают древесные виды. Деревья и кустарники представлены в основном растениями сем. *Salicaceae*: *Salix caprea*, *S. myrsinifolia*, *S. viminalis*, *S. cinerea*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *Populus tremula*, а также встречаются такие виды, как *Betula pendula* и *Pinus sylvestris*. Травянистый ярус разрежен, общее проективное покрытие составляет 70 %. На участке формируется злаково-разнотравное растительное сообщество. Среди злаков доминирующими являются *Calamagrostis epigeios* (cop₃-soc), *Dactylis glomerata* (cop₁ gr-cop₂), *Bromopsis inermis* (cop₁-cop₂). Из разнотравья преобладают *Euphorbia virgata* (cop₂), *Chamaenerion angustifolium* (sp gr-cop₁), *Linaria vulgaris* (cop₁-cop₂), *Erigeron acris* (cop₃ gr), *Plantago media* (cop₂ gr-cop₃).

Нами было проведено изучение динамики микоризообразования и зависимости показателей микотрофности травянистых видов от погодноклиматических условий. Для этого в течение пяти лет, с 2004 по 2008 г., в первой декаде июля на одном и том же участке золоотвала (на «чистой» золе) были отобраны и изучены корневые системы всех травянистых ви-

дов (по 10 экз. каждого вида). Результаты исследований представлены в табл. 94.

Анализ полученных результатов показал, что большая часть исследованных растений имеет микоризу: доля микотрофных видов в разные годы колеблется от 80,3 % (2006 г.) до 96,3 % (2007 г.). Большинство исследованных травянистых видов относятся к слабомикотрофным. К среднемикотрофным были отнесены в 2005 г. — *Lathyrus pratensis*, *Trifolium pratense*, *Galium mollugo*, *Linaria vulgaris*, *Plantago major*, *Phleum pratense*, в 2007 г. — *Amoria repens*, *Lactuca tatarica*. Немикотрофными оказались виды *Berteroa incana*, *Turritis glabra* L. (сем. Brassicaceae) и *Luzula multiflora* (сем. Juncaceae).

Таблица 94

Характеристика микотрофности травянистых видов в разные годы на золоотвале СУГРЭС

Показатель	2004	2005	2006	2007	2008
Частота встречаемости микоризной инфекции (F), %	50,78 ± 4,81	82,44 ± 4,19	21,91 ± 3,19	48,8 ± 5,2	21,05 ± 3,5
Степень микотрофности (D), баллы	0,63 ± 0,07	1,35 ± 0,9	0,43 ± 0,05	0,89 ± 0,04	0,35 ± 0,05
Средняя интенсивность микоризной инфекции (Q), %	13,13 1,46	27,04 ± 1,94	8,62 ± 0,96	14,51 ± 2,01	6,97 ± 1,06
Микосимбиотический коэффициент фитоценоза (M), %	12,64 ± 1,49	27,81 ± 1,83	6,29 ± 1,05	15,32 ± 2,01	5,80 ± 1,03

Средние значения интенсивности микоризной инфекции в разные годы достоверно различаются ($F = 5,49$, $p < 0,005$) (см. табл. 94). Наиболее высокие показатели (доля микотрофных видов, частота встречаемости микоризной инфекции, интенсивность микоризной инфекции и микосимбиотический коэффициент фитоценоза) наблюдаются в 2005 и 2007 гг., в эти же годы отмечено большее количество везикул и арбускул в корнях растений.

Известно, что условия увлажнения являются одним из ведущих факторов, влияющих на микоризообразование (Крюгер, Селиванов, 1968; Лусникова, Селиванов, 1974; Селиванов, 1975; 1981).

При сравнении показателей микоризы в разные годы и количества осадков, выпавших за период с января по июнь 2004–2008 гг., было выявлено, что наибольшая интенсивность микоризной инфекции наблюдается в годы с большим количеством осадков (рис. 34, 35).

Количество осадков, мм

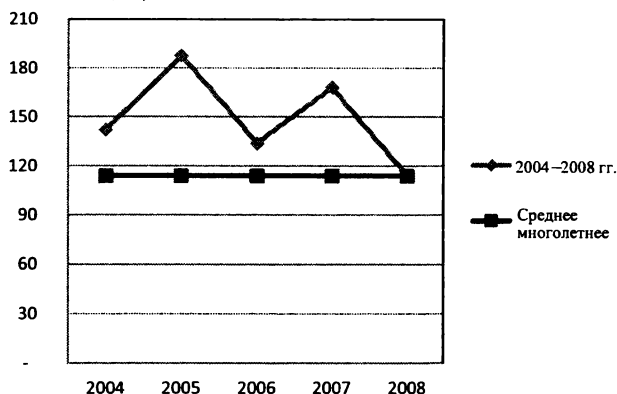


Рис. 34. Суммарное количество осадков за январь — июнь 2004–2008 гг. (Погодные данные, 2009)

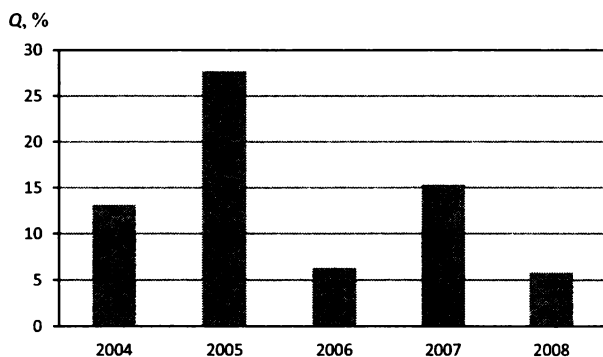


Рис. 35. Средняя интенсивность микоризной инфекции Q (%) у растений золоотвала СУГРЭС в 2004–2008 гг.

Изучение эктомикоризы

При зарастании промышленных отвалов практически одновременно с травянистыми видами начинают поселяться древесные виды. Эктомикоризы, образующиеся при взаимодействии корней многолетних древесных растений и эктомикоризных грибов, характеризуются высокой

степенью облигатности, являются одним из наиболее распространенных типов микоризных ассоциаций в бореальной зоне, повышают приспособленность растений к неблагоприятным эдафическим условиям, а также к загрязнению среды тяжелыми металлами (Веселкин, 1998; 1999; 2001; Веселкин, Мухин, 1999; Мухин, Веселкин, 2004).

При естественном возобновлении древесных пород на промышленных отвалах различных месторождений полезных ископаемых отмечается активное участие ив. Многие авторы отмечают нетребовательность ив к почвенным условиям, особенно к их плодородию (Исаченко, 1949; Неверова, 1968), а также значительную роль ивняков в стабилизации условий местообитания (Левицкий, 1965; Сукачев, 1953). Исследования А. Ю. Кулагина (1998) показали глубокую эколого-эволюционную дифференциацию рода *Salix* и многообразие путей адаптации ив к различным неблагоприятным факторам среды. Одним из способов адаптации, на наш взгляд, является микориза.

Нами было проведено изучение особенностей анатомического и морфологического строения эктомикориз шести видов ив, произрастающих на золоотвале СУГРЭС (Глазырина и др., 2009).

Материал был собран в середине июля 2007 г. Корни выкапывались с глубины 20 см и фиксировались 70 %-м спиртом. При камеральной обработке измерялись корни средней пробы, взятой с 5 экз. растений, общей длиной 500 см, и подсчитывалось количество микоризных окончаний на них. Затем высчитывалось среднее число микориз, приходящееся на 100 мм длины корня (плотность микориз), определялась форма микоризных окончаний. На срезах толщиной 25 мк, сделанных на замораживающем микротоме, определялись тип микоризы и толщина мицелиального чехла. Для определения степени микотрофности использовалась классификация В. Г. Логиновой и Л. А. Ивашкиной (1985): растения, имеющие плотность 10 микоризных окончаний на 100 мм корня, были отнесены к слабомикотрофным, 10–30 — среднемикотрофным, более 30 — сильномикотрофным.

Результаты исследований представлены в табл. 95. Степень развития микориз у изученных видов неодинаковая. Четыре вида являются среднемикотрофными — *Salix viminalis*, *S. caprea*, *S. cinerea* и *S. pentandra*. Плотность микоризы на 100 мм корня у этих видов соответственно равняется 14, 12, 11 и 10. Два вида отнесены к слабомикотрофным. — *Salix triandra* (7) и *S. myrsinifolia* (3).

Характеристика микоризы ив

Вид	Плотность микориз, ед./100 мм	Плотность микориз, ед./100 мм (по лит. данным)*	Форма микоризных окончаний	Характеристика мицелиальных чехлов	
				Средняя толщина, мк	Тип (по Доминику)
Среднемикотрофные					
Salix viminalis	14	15	Бул., четк.	31,8 ± 11,8	В
Salix caprea	12	18	Удл.-бул., четк.	25,8 ± 6,6	В
Salix cinerea	11	19	Бул., четк.	20,3 ± 5,1	В, С
Salix pentandra	10	Нет дан.	Бул., удл.-бул.	18,1 ± 6,1	В
Слабомикотрофные					
Salix triandra	7	20	Бул., удл.-бул.	25,8 ± 4,1	В, Е
Salix myrsinifolia	3	Нет дан.	Бул., удл.-бул.	19,9 ± 5,0	В

Примечание: бул. — булавовидные окончания; удл.-бул. — удлинненно-булабовидные окончания; четк. — четковидные окончания.

* Характеристика микоризы ив, произрастающих на территории биостанции В.-Квазва Пермского пединститута (Логонова, Ивашкина; 1985).

Наибольшую плотность микориз имеет *Salix viminalis* L., наименьшую — *S. myrsinifolia* Salisb. (рис. 36).

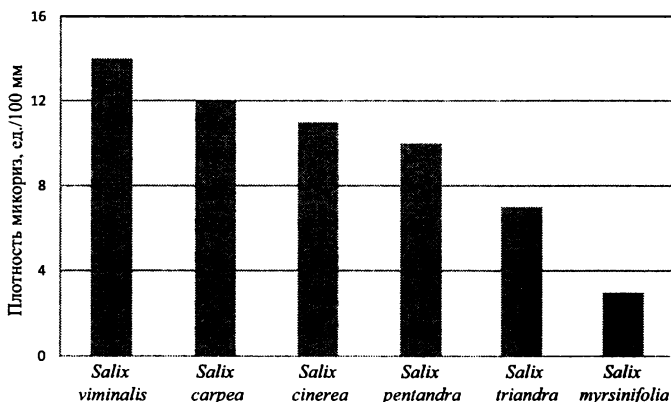


Рис. 36. Плотность микориз у ив, произрастающих на золоотвале СУГРЭС

Сравнение полученных данных с результатами исследования, проведенного на территории биостанции В.-Квазва Пермского пединститута В. Г. Логоновой и Л. А. Ивашкиной (1985), показало, что в целом плот-

ность микоризных окончаний в естественных условиях произрастания выше, чем в условиях золоотвала.

Формы микоризных окончаний у ив на золоотвале СУГРЭС довольно однообразны. В основном встречаются булабовидные, удлинненно-булабовидные и четковидные окончания, с преобладанием того или иного типа в зависимости от вида. Например, у *Salix caprea* преобладающей формой является четковидная, у *Salix triandra* — булабовидная. Такие же формы микоризных окончаний преобладают у ив, произрастающих на территории биостанции Пермского пединститута (Логинова, Ивашкина, 1985).

Встречаются как темноокрашенные микоризные окончания, так и светлоокрашенные. Преобладающая окраска — темная. Светлоокрашенные чехлы традиционно считаются более физиологически активными (Селиванов, 1981).

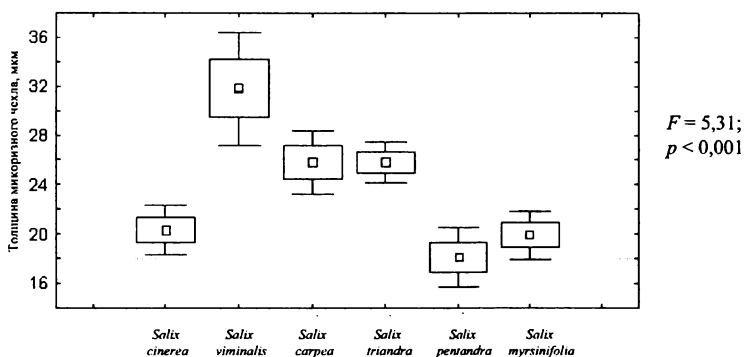
Преобладающий тип мицелиальных чехлов, по классификации Доминика (1963), у ив на золоотвале СУГРЭС — тип В, характеризующийся плектенхиматическим сложением и гладкой поверхностью. Также встречаются типы Е и С. В естественных условиях у ив встречаются типы В и F, а также переходный тип В–F (Логинова, Ивашкина, 1985). Сеть Гартига хорошо видна, захватывает один слой клеток. Толщина микоризного чехла колеблется от $31,8 \pm 11,8$ мкм у *Salix viminalis* до $18,1 \pm 6,1$ мкм у *S. pentandra* и достоверно различается у всех видов ив (рис. 37).

Ивы, ареал которых приурочен к сырым местообитаниям, имеют менее развитую микоризу в условиях золоотвала. У слабомикотрофных видов ив малое количество микоризных окончаний в некоторой степени компенсируется увеличением толщины микоризного чехла по сравнению с близкими по плотности микориз видами, отнесенными к среднемикотрофным.

Таким образом, условия золоотвала находятся в пределах адаптивной зоны ив, т. е. являются достаточно благоприятными для образования и развития консортивных связей между высшим симбионтом (ивой) и грибом, но в то же время на нарушенной территории степень интенсивности микоризной инфекции ниже, чем в естественных условиях.

С целью выявления влияния субстрата на микоризообразование древесных видов нами было проведено сравнительное изучение микоризы *Salix caprea*, *Populus tremula* и *Pinus sylvestris*, произрастающих на золоотвале СУГРЭС (субстрат — зола с примесью песка, pH водный 5,7–7,0) и на Галкинском отвале № 3 мраморизированного известняка (субстрат — смесь обломков известняка, глин, суглинков, pH водный 7,3–7,5). Корни

исследуемых видов отбирались на обоих объектах в один и тот же год в первой декаде июля (в слое 0–20 см) с особой одинакового возраста.



□ среднее; ± стандартная ошибка среднего; ± стандартное отклонение

Рис. 37. Средняя толщина микоризного чехла у ив, произрастающих на золоотвале СУГРЭС

Степень развития микориз у изученных видов неодинакова (табл. 96). Виды, произрастающие на Галкинском отвале мраморизированного известняка, согласно классификации В. Г. Логиновой и Л. А. Ивашкиной (1985), относятся к слабомикотрофным. Плотность микориз на 100 мм корня у *Salix caprea*, *Populus tremula* и *Pinus sylvestris* соответственно равняется 7, 6 и 5. На золоотвале СУГРЭС плотность микориз у всех изученных видов выше: у *Populus tremula* она составила 8 микоризных окончаний на 100 мм корня — слабомикотрофный вид, у *Salix caprea* и *Pinus sylvestris* — 14 и 20 соответственно (среднемикотрофные виды). Формы микоризных окончаний у всех видов довольно однообразны: у *Salix caprea* и *Populus tremula* на обоих объектах преобладают булавовидные и удлинненно-булавовидные, у *Pinus sylvestris* встречаются также разветвленные формы — вильчатая и кораллоподобная. Такие формы микоризных окончаний, по литературным данным, являются характерными для данных видов (Наместников, 1995; Селиванов, 1981). И. А. Селиванов (1981) отмечает, что формы микоризных окончаний в большей степени зависят от видовой принадлежности растения-хозяина и гриба-симбионта и в меньшей — от почвенных условий.

Окраска микоризных окончаний различается: на золоотвале СУГРЭС преобладает темно-бурая окраска, на Галкинском отвале мраморизированного известняка — более светлая у всех исследованных видов. Пре-

Характеристика микрофлорности древесных видов

Объект	Плотность микориз, ед./100 мм	Форма микоризных окончаний	Характеристика мицелиальных чехлов		
			Средняя толщина, мк	Доля объема чехла, % *	Тип (по Доминику)
<i>Salix caprea</i>					
Золотавал СУГРЭС	14	Бул., укл.-бул., чстк.	12,5 ± 0,42	28,66 ± 0,98	В
Галкинский отвал мраморизованного известняка	7	Бул., укл.-бул.	9,4 ± 0,43	25,97 ± 0,79	В
<i>Populus tremula</i>					
Золотавал СУГРЭС	8	Бул., укл.-бул.	10,34 ± 0,46	28,75 ± 0,9	В
Галкинский отвал мраморизованного известняка	6	Бул., укл.-бул.	8,29 ± 0,42	26,88 ± 0,74	В, С
<i>Pinus sylvestris</i>					
Золотавал СУГРЭС	20	Бул., укл.-бул., вильчат., коралловид.	10,68 ± 0,42	26,71 ± 0,62	В, С, F
Галкинский отвал мраморизованного известняка	5	Бул., укл.-бул., вильчат.	9,16 ± 0,56	20,18 ± 0,86	В, С, F

Примечание: бул. — булавовидные окончания; укл.-бул. — удлиненно-булавовидные окончания; чстк. — чстковидные окончания.
 *Данный показатель рассчитывался по формуле, предложенной Д. В. Веселкиным (2001).

обладающий тип мицелиальных чехлов на обоих объектах (по классификации Доминика, 1963) — тип В, характеризующийся плектенхиматическим сложением и гладкой поверхностью, встречаются типы F и С.

Толщина микоризного чехла у изученных видов, произрастающих на золоотвале СУГРЭС, имеет большие значения, чем на Галкинском отвале мраморизованного известняка. Сеть Гартига захватывает большую площадь поперечного сечения корня на Галкинском отвале, чем на золоотвале СУГРЭС. Н. М. Шемаханова (1962) в опытах на сеянцах отмечает, что образцы, имеющие более толстый грибной чехол с отходящими от него гифами и не глубоко проникающую в ткани корня сеть Гартига, характеризуются более активной поглощающей поверхностью, повышенным содержанием хлорофилла в листьях и большим сухим весом.

Таким образом, все изученные на золоотвале СУГРЭС и на Галкинском отвале мраморизированного известняка древесные виды имеют микоризу и относятся к слабо- и среднемикотрофным. Формы микоризных окончаний, типы микоризных чехлов у одних и тех же видов на обоих объектах практически не различаются. Толщина микоризного чехла и плотность микориз достоверно различаются у всех исследованных видов на обоих объектах, т. е. зависят как от видовой принадлежности растения-хозяина, так и от свойств субстрата. Показатели микотрофности древесных видов на золоотвале СУГРЭС имеют большие значения, чем на Галкинском отвале мраморизированного известняка, что может быть связано с комплексом эдафических факторов, таких как pH и плотность субстрата.

Таким образом, в процессе проведенных исследований было установлено, что большинство видов, произрастающих на промышленных отвалах Среднего Урала, имеют микоризу. Доля микотрофных видов в 20–50-летних растительных сообществах варьирует от 60,0 до 100 %. Подавляющее большинство видов являются слабомикотрофными. Показатели микотрофности на нарушенных промышленностью землях ниже, чем в естественных растительных сообществах. Преобладание слабомикотрофных видов характерно для большинства растительных сообществ, формирующихся на техногенных объектах Среднего Урала (Чибрик и др., 1980), это свидетельствует об экстремальности экологических, в том числе эдафических, условий (Логинова, Селиванов, 1975).

Исследование микоризообразования в ценопопуляциях отдельных видов (на примере *Deschampsia cespitosa* и *Erigeron acris*) показало, что в симбиотические взаимоотношения исследованные виды вступают на самых ранних этапах развития. Интенсивность микоризообразования меняется в процессе онтогенеза и зависит как от возрастного состояния особей, так и от свойств субстрата.

Наши исследования динамики микоризообразования на золоотвалах в разных зонально-климатических условиях, проведенные в течение 25 лет, начиная с 5-летних растительных сообществ (Лукина, 2007; Лукина и др., 2008), а также изучение показателей микотрофности сериальных фитоценозов, формирующихся на разновозрастных участках отвалов Сухореченского доломитового, Евстюнинского железорудного и Галкинского известнякового месторождений, показали, что с увеличением возраста происходит рост доли микотрофных видов в растительных сообществах, а также увеличиваются степень и интенсивность микоризной инфекции.

Показатели микотрофности (степень и интенсивность микоризной инфекции) в значительной степени зависят от свойств субстрата (содер-

жания гумуса, доступных для растений элементов минерального питания, влажности), от эколого-ценотических, погодно-климатических условий, а также от возраста формирующихся растительных сообществ, особенно на начальных этапах формирования фитоценозов. На щелочных, засоленных и карбонатных субстратах происходит интенсификация развития везикулярно-арбускулярной микоризы травянистых видов.

На техногенных субстратах при недостатке доступных растениям элементов минерального питания (особенно N и P), неблагоприятном водном и воздушном режимах наличие микоризы является важным фактором адаптации растений к измененным условиям среды. Микоризообразующие грибы, связывая в единый комплекс субстрат и растения, являются не только важным экологическим фактором индивидуального развития растений, но и способствуют повышению устойчивости и степени сформированности биогеоценозов, формирующихся на нарушенных промышленностью землях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по трансформации и разработке (уточнению) методологии долгосрочного прогноза состояния фитоценозов, как главного компонента формирующихся техногенных экосистем на рекультивированных территориях, проводились на следующих отвалах:

- отвалы угольных месторождений Карпинско-Волчанского бурого района (старые Турьинские и Северные Веселовские; таежная зона, подзона средней тайги);
- гидроотвалы Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота (таежная зона, подзона южной тайги);
- золоотвалы тепловых электростанций:
 - 1) золоотвал Среднеуральской ГРЭС (таежная зона, подзона южной тайги);
 - 2) золоотвал Верхнетагильской ГРЭС (таежная зона, подзона южной тайги);
 - 3) золоотвал Южноуральской ГРЭС (лесостепная зона).

Для всех объектов дана общая их характеристика (площадь, местоположение и др.); охарактеризованы породный состав для отвалов горнодобывающей промышленности и дана характеристика субстрата золоотвалов; приведена агрохимическая характеристика и определена группа пригодности отвалов для биологической рекультивации.

Обязательно и по возможности подробно описаны проведенные рекультивационные мероприятия (техническая подготовка поверхности отвалов, меры улучшения свойств субстрата и мероприятия биологического этапа — использованный ассортимент многолетних трав).

В плане анализа трансформации культурфитоценозов дана их подробная геоботаническая характеристика в динамике (с учетом имеющихся данных по мониторингу), приведены данные по продуктивности. В качестве показателей структурно-динамической организации использованы результаты ценопопуляционного анализа наиболее перспективных видов для биологической рекультивации.

Установлено, что структурно-динамическая организация и трансформация культурфитоценозов рекультивированных промышленных отвалов своеобразна и зависит от способа рекультивации, агротехнических

мероприятий, эдафических и зонально-климатических условий, направления и способа хозяйственного использования.

При анализе трансформации культурфитоценозов и формировании фитоценозов при самозарастании основным методологическим подходом является их всестороннее комплексное исследование с использованием индикационной роли растительности.

Процесс самозарастания изучен на 16 техногенных объектах (см. табл. 48). Исследование структурно-динамической организации сериальных фитоценозов на золоотвалах ВТГРЭС и СУГРЭС проводилось на видовом и ценопопуляционном уровнях, а функциональной структуры — на примере микосимбиотических связей. Впервые обнаружены и изучены ценопопуляции редких и исчезающих видов Свердловской обл. — *Listera ovata* и *Platanthera bifolia*. Установлено, что с увеличением степени сформированности лесных фитоценозов усиливается их влияние на травянистую растительность: увеличивается разнообразие лесных видов и уменьшается сорно-рудеральных.

Изучена пространственная, морфологическая и возрастная структура популяций *Erigeron acris*, произрастающих на зольном субстрате участков самозарастания золоотвалов, и микосимбиотрофизм особей разного возрастного состояния.

В зависимости от конкретных экологических условий формируются разнообразные по видовому составу и структуре луговые, лугово-лесные и лесные фитоценозы (последние с доминированием *Populus tremula*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, 5 видов рода *Salix*). Рекультивационные мероприятия дают возможность разнообразить экотопы и корректировать формирование растительности.

Процесс формирования растительности на золе при самозарастании сильно замедлен, при этом снижается видовое разнообразие фитоценозов, происходит замена стенотопных видов эвритопными. Формируются фитоценозы с обедненным видовым составом и упрощенной структурой. Одним из адаптационных механизмов выживания растений в этих неблагоприятных условиях является усиление микотрофности видов. Улучшение свойств золы за счет рекультивационных мероприятий (покрытие слоем почвы, торфа, грунта и др.) существенно ускоряет (на десятки лет) процесс формирования фитоценозов при самозарастании, усложняется их видовое разнообразие, изменяются структура и продуктивность. В этих условиях при одновременном посеве районированных многолетних трав за 2–3 года возможно получение хозяйственно ценных культурфитоценозов длительного пользования.

В результате получены новые фундаментальные знания по структурно-динамической организации культурфитоценозов рекультивированных промышленных отвалов, дополнительно полученный и обобщенный мониторинговый фактический материал является ценной базой для выявления адаптационных возможностей многолетних трав, использованных для биологической рекультивации, который при специальном анализе может быть применен для создания общей теории адаптации растений в очень своеобразных экологических условиях промышленных отвалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Агаев М. Г. Некоторые итоги исследований по экспериментальной микроэволюции (на примере аутогамных растений) // Ботан. журн. 1970. Т. 55, № 1. С. 3–22.

Андреев Н. Г. Луговоеводство. М. : Колос, 1966. 511 с.

Андроханов В. А., Овсянникова С. В., Курачев В. М. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск : Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. 200 с.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд. М. : Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

Беспрозвана С. Я. Выращивание многолетних травянистых растений на рыхлых золоотвалах // Растения и промышленная среда : сб. науч. работ каф. ботаники. Свердловск : УрГУ, 1964. С. 116–133.

Биологическая активность пород на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения и золоотвала Верхнетагильской ГРЭС / Г. И. Махонина, В. Н. Данилов, Т. В. Еремкина и др. // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1985. С. 70–80.

Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г.). Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. 928 с.

Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы Междунар. совещ. (Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г.). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 615 с.

Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов : указатель работ, выполненных в Уральском университете (1957–1999) / авт.-сост. М. В. Пасынкова, М. А. Глазырина. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2000. 59 с.

Борисова И. В. Биолого-морфологическая характеристика травянистых подушковидных растений Северного Казахстана // Проблемы ботаники. 1964. Вып. 4. С. 336–345.

Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры. Киев : Наук. думка, 1991. 168 с.

Быков Б. А. Доминанты растительного покрова Советского Союза : в 3 т. Алма-Ата : Изд-во Акад. наук КазССР, 1960–1965.

Быков Б. А. Геоботаническая терминология. Алма-Ата : Наука, 1967. 168 с.

Быков Б. А. Экологический словарь. 2-е изд., доп. Алма-Ата : Наука, 1988. 246 с.

Быченко Т. М. Особенности биологии некоторых видов орхидных Южного Прибайкалья в связи с вопросами их охраны : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. М., 1992. 20 с.

Быченко Т. М. Устойчивость некоторых видов орхидных Южного Прибайкалья к антропогенным факторам среды // Бюл. Главн. ботан. сада. 1997. Вып. 175. С. 80–82.

Быченко Т. М. Изучение ценопопуляций некоторых видов орхидных Южного Прибайкалья на техногенно нарушенных территориях // Проблемы экологии и рационального использования природных ресурсов в Дальневосточном регионе : материалы регион. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 21–23 дек. 2004 г.). Благовещенск : Изд-во БГПУ, 2004. Т. 1. С. 175–179.

Бялович Ю. П. Введение в культурфитоценологию // Сов. ботаника. 1936. № 2. С. 21–36.

Василевич В. И. Статистические методы в геоботанике. Л. : Наука, 1969. 232 с.

Василевич В. И. Неравномерность распределения видов в сообществе и ее количественный анализ // Мозаичность растительных сообществ и их динамика. Владимир : ВГПИ, 1970. С. 66–83.

Василевич В. И. Количественные методы изучения структуры растительности // Итоги науки и техники. Сер. Ботаника : в 2 т. М. : ВИНТИ, 1972. Т. 1. С. 7–83.

Василевич В. И. Почему существуют многовидовые растительные сообщества // Ботан. журн. 1979. Т. 64, № 3. С. 341–350.

Василевич В. И. Экологическая ниша у растений // Биология, экология и взаимоотношения ценопопуляций растений : материалы конф. к 80-летию со дня рождения А. А. Уранова (Москва, 27–29 янв. 1981 г.). М. : Наука, 1982. С. 3–6.

Василевич В. И. Очерки теоретической фитоценологии. Л. : Наука, 1983. 248 с.

Вахрамеева М. Г., Варлыгина Т. И., Татаренко И. В. Виды евразийских наземных орхидных в условиях антропогенного воздействия и некоторые проблемы их охраны // Бюл. МОИП. 1997. Т. 102. С. 35–43.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М. : Наука, 1965. 376 с.

Веселкин Д. В. Развитие пихты на ранних стадиях онтогенеза в техногенно нарушенных местообитаниях и образование микориз // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии : материалы конф. молодых ученых-экологов Урал. региона (Екатеринбург, 21–24 апр. 1998 г.). Екатеринбург : Изд-во «Екатеринбург», 1998. С. 12–19.

Веселкин Д. В. Реакция эктомикориз на техногенное воздействие: анатомический уровень // Развитие идей академика С. С. Шварца в современной экологии. Екатеринбург : Изд-во «Екатеринбург», 1999. С. 11–18.

Веселкин Д. В. Исследование микоризных ассоциаций в зоне стационара (на примере эктомикориз) // Экологическая токсикология : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2001. С. 38–46.

Веселкин Д. В., Мухин В. А. Измерение строения эктомикориз в условиях химического загрязнения: экологический смысл // Экология и человек на пороге XXI века. Проблемы охраны окружающей среды и здоровья человека : материалы II Междунар. открытой сессии «Modus Academicus» (Ульяновск, 19–21 нояб. 1998 г.). Ульяновск : УлГУ, 1999. С. 253–256.

Гаджиев И. М., Курачев В. М., Андроханов В. А. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель. Новосибирск : ЦЭРИС, 2001. 37 с.

Гельцер Ф. Ю. Распространение и происхождение эндотрофной микоризы у растений // Учен. зап. Перм. гос. пед. ин-та. 1968. Т. 64 : Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ : материалы I Межвуз. конф. по биологии, экологии доминантов и эдификаторов естественных и искусственных фитоценозов. С. 191–195.

Глазырина М. А. Структура ценопопуляции люцерны пестрогибридной (*Medicago media* Pers.) в экспериментальных посевах Коркинского угольного разреза // Биологическая рекультивация нарушенных земель : материалы Междунар. совещ. (Екатеринбург, 26–29 авг. 1996 г.). Екатеринбург : УрО РАН, 1997. С. 67–77.

Глазырина М. А. Использование редких и исчезающих видов растений при биологической рекультивации нарушенных земель // Техноген-98 : тез. докл. 2-й выставки и науч.-техн. конф. по переработке техногенных образований (Екатеринбург, 10–13 февр. 1998 г.). Екатеринбург, 1998. С. 37.

Глазырина М. А. Структура популяции скально-горностепного эндемика *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb. в условиях Коркинского угольно-

го разреза // Б. П. Колесников — выдающийся отечественный лесовед и эколог : к 90-летию со дня рождения : тез. докл. науч. конф. (Екатеринбург, 7–8 дек. 1999 г.). Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1999. С. 23.

Глазырина М. А. Структура интродуцированной популяции гвоздики иглолистной (*Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb.) в Коркинском угольном разрезе // Итоги интродукции и селекции травянистых растений на Урале : сб. ст. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2001а. С. 120–134.

Глазырина М. А. Структура и динамика популяции гвоздики иглолистной (*Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb.) в Коркинском угольном разрезе // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий : материалы Междунар. науч. конф. (Оренбург, 30–31 янв. 2001 г.). Оренбург : ИПК «Газпромпечатъ», 2001б. С. 72–74.

Глазырина М. А. Особенности формирования флоры и растительности в условиях отвалов и карьеров открытых угольных разработок (на примере Челябинского бурогоугольного бассейна) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / ИЭРИЖ РАН. Екатеринбург, 2002. 17 с.

Глазырина М. А. Систематическая и биоэкологическая структуры флоры нарушенных земель Челябинского бурогоугольного бассейна // Биологическая рекультивация нарушенных земель : материалы Междунар. совещ. (Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г.). Екатеринбург : УрО РАН, 2003. С. 61–72.

Глазырина М. А., Лукина Н. В., Филатова М. Е. и др. К вопросу восстановления фиторазнообразия на нарушенных промышленностью территориях // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (Нижевартовск, 25–26 марта 2009 г.). Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2009. С. 54–58.

Глазырина М. А., Пасынкова Е. В. Результаты интродукции эспарцета песчаного в условиях Коркинского угольного разреза // Тр. Первой Всерос. конф. по ботан. ресурсоведению (Санкт-Петербург, 25–30 нояб. 1996 г.). СПб. : БИН им. В. Л. Комарова РАН, 1996. С. 105.

Глазырина М. А., Пасынкова Е. В. Структура ценопопуляций эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria* (Kit.) DC) в экспериментальных посевах Коркинского угольного разреза // Экологические исследования на Урале. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. С. 75–91.

Глазырина М. А., Чибрик Т. С. Структура и динамика популяции гвоздики иглолистной в Коркинском угольном разрезе (лесостепная зона) // Проблемы охраны растительного мира Сибири : тез. докл. Междунар. совещ. (Новосибирск, 21–24 авг. 2001 г.). Новосибирск : ЦСБС СО РАН, 2001. С. 30–31.

Горчаковский П. Л. Тенденции антропогенных изменений растительного покрова Земли // Ботан. журн. 1979. Т. 64, № 12. С. 1697–1713.

Горчаковский П. Л., Зуева В. Н. Онтогенез, структура и динамика популяций южноуральского эндемика *Onosma guberlinensis* Dobrocz. et V. Vinogr. // Экология. 1993. № 6. С. 24–29.

Горчаковский П. Л., Степанова А. В. Уральские эндемичные виды рода *Minuartia* L.: онтогенез, структура и динамика популяций // Экология. 1994а. № 3. С. 22–30.

Горчаковский П. Л., Степанова А. В. Уральский скально-горностепной субэндемик *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb.: онтогенез, структура и динамика популяций // Экология. 1994б. № 6. С. 3–11.

Горчаковский П. Л., Шурова Е. А. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья. М. : Наука, 1982. 208 с.

Горышина Т. К. Экология растений : учеб. пособие. М. : Высш. школа, 1979. 368 с.

ГОСТ 12036-66 — ГОСТ 12047-66. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. — Взамен ГОСТ 5055-56 ; введ. 01.07.1966 до 01.07.1981. М. : Изд-во стандартов, 1978. 168 с.

ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. — Взамен ГОСТ 17.5.1.03-78 ; введ. 01.01.1988. М. : Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М. : Мир, 1967. 360 с.

Дайбо М. И. Среднеуральская орденa Ленина. Свердловск : Изд-во «Свердловск», 1969.

Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений : метод. разработки для студ. биол. спец. / под ред. Т. И. Серебрякова. М. : МГПИ им. В. И. Ленина, 1980. Ч. 1. 109 с.

Диагнозы и ключи возрастных состояний луговых растений : метод. разработки для студ. биол. спец. / под ред. Т. И. Серебрякова. М. : МГПИ им. В. И. Ленина, 1983. Ч. 2. 184 с.

Дидух Я. П. Проблемы активности видов растений // Ботан. журн. 1982. Т. 67, № 7. С. 925–935.

Доминик Т. Классификация микориз // Микориза растений. М. : Сельхозиздат, 1963. С. 245–258.

Дробиз Ф. Д., Мельникова Э. И., Шилова И. И. Содержание железа и алюминия в растениях, выращенных на красном шламе // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1970. С. 180–189.

Дьяченко А. П. Сравнительный анализ структурных и функциональных особенностей фотосинтетического аппарата различных экологических групп высших растений // Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата. Свердловск : УрГУ, 1978. С. 93–102.

Ерошенко Х. И., Глазырина М. А. Формирование естественных фитоценозов на Галкинском отвале мраморизированного известняка // Экологические механизмы динамики и устойчивости биоты : материалы конф. молодых ученых (Екатеринбург, 19–23 апр. 2004 г.). Екатеринбург : Изд-во «Академкнига», 2004. С. 72–73.

Желева-Богданова Е. И. Рекультивация на нарушении тернии. София : Изд-во «ПублишСайСет-Еко», 2010. 411 с.

Жукова Л. А., Ермакова И. М. Изменение возрастного состава популяций луговика дернистого на пойменных и материковых лугах Московской области // Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. М. : Наука, 1967. С. 114–131.

Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1973. 256 с.

Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Шорина Н. И. Особенности популяционной жизни растений // Популяционные проблемы в биогеоценологии : докл. на шестом ежегод. чтении памяти акад. В. Н. Сукачева. М. : Наука, 1988. С. 29–59.

Заугольнова Л. Б., Шорина Н. И. Опыт анализа размещения особей в ценопопуляции // Количественные методы анализа растительности. Рига : Изд-во Латв. ун-та, 1971. С. 105–113.

Злобин Ю. А. Агрофитоценология : учеб. пособие. Харьков : Харьков. с.-х. ин-т, 1986. 74 с.

Злобин Ю. А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений : учеб.-метод. пособие. Казань : Казан. гос. ун-т, 1989а. 246 с.

Злобин Ю. А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляций растений // Ботан. журн. 1989б. Т. 74, № 6. С. 769–781.

Зуева Г. А. Особенности структуры и динамики ценопопуляций *Orthilia secunda* (L.) House в лесных массивах национального парка «Нижняя Кама» Республики Татарстан // Принципы и способы сохранения биоразнообразия : материалы II Всерос. науч. конф. (Йошкар-Ола, 28–31 янв. 2006 г.). Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. С. 249–251.

Ильина Е. Я. Динамика формирования побегов и продуктивность люцерны посевной : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1969. 20 с.

Исаченко Х. М. Лесоводственные свойства главных и сопутствующих пород для создания государственных полезащитных полос. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1949. 100 с.

Камышев Н. С. Некоторые основные проблемы агрофитоценологии // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1971. Т. 76, № 2. С. 5–15.

Капелькина Л. П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб. : Наука ПРОПО, 1993. 191 с.

Карамышева З. В. Растительность каменистых степей юго-западной части Центрально-Казахстанского мелкосопочника // Ботан. журн. 1960. № 1.

Картыгин И. В. Козволюция грибов и растений. СПб. : Гидрометеоздат, 1993. 115 с.

Качинский Н. А. Корневая система растений в почвах подзолистого типа // Тр. Моск. обл. с.-х. опыт. станции. 1925. Вып. 7, ч. 1. С. 124–136.

Князев М. С. Сохранение некоторых редких видов растений Урала // Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов : сб. ст. Свердловск : УрО АН СССР, 1984. С. 38–40.

Князев М. С. Сохранение некоторых редких видов уральской флоры в условиях антропогенного изменения естественных биоценозов // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала : сб. науч. тр. Свердловск : УрО АН СССР, 1989. С. 130–133.

Князев М. С. Редкие виды растений в техногенных неозотопах на Урале // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск : УрО АН СССР, 1990. С. 106–110.

Колесников Б. П. Леса Свердловской области // Леса СССР : в 5 т. М. : Наука, 1969. Т. 4. С. 64–125.

Колесников Б. П., Махонина Г. И., Чибрик Т. С. Естественное формирование почвенного и растительного покровов на отвалах Челябинского буроугольного бассейна // Растения и промышленная среда : сб науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1976. С. 70–123.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1974. С. 328.

Колосов И. И. Поглощительная деятельность корневых систем растений. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 388 с.

Колосова А. Е., Мурахтанов Е. С. Лесная таксация. Л. : Изд-во ВЗЛТИ, 1960. 292 с.

Комов С. В. Введение в экологию : десять общедоступных лекций. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1999. 167 с.

Конвенция о биологическом разнообразии: договор ООН. Рио-де-Жанейро, 1992.

Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР : в 3 т. М. : Сельхозгиз, 1950. Т. 1. 688 с.

Коробейникова В. П., Минеева О. Н. Особенности произрастания уральских эндемичных растений на обнажениях дунита при антропогенных воздействиях // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск : УрО РАН СССР, 1985. С. 100–105.

Корчагин А. А. Видовой (флористический состав) растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника : в 5 т. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 39–62.

Корякина В. Ф. Особенности роста и развития многолетних кормовых растений. М. ; Л. : Наука, 1964. 286 с.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Биотехнологические аспекты рекультивации земель // Ускоренная рекультивация земель с использованием высокоэффективной биотехнологии. Пермь, 1988. С. 5–14.

Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н. С. Корытин. Екатеринбург : Баско, 2008. 256 с.

Красная книга Среднего Урала (Свердловская и Пермская области): редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений / под ред. В. Н. Большакова, П. Л. Горчаковского. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1996. 279 с.

Крюгер Л. В., Селиванов И. А. К биологии и экологии эндотрофных микориз // Вопросы биологии и экологии доминантов эдификаторов растительных сообществ. Пермь : Изд-во ПГУ, 1968. С. 196–202.

Кулагин А. Ю. Ивы: техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов. Уфа : Изд-во «Гилем», 1998. 193 с.

Куликов П. В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения). Екатеринбург ; Миасс : Геотур, 2005. 537 с.

Куминова А. В. Растительный покров Алтая. Новосибирск : Академкнига, 1960. 450 с.

Куприянов А. Н. Биологическая рекультивация отвалов в субаридной зоне. Алма-Ата : Наука, 1989. 104 с.

Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск : Академ. изд-во «Гео», 2010. 160 с.

Куркин К. А. О филоценогенезе и селектоценогенезе в связи с геохимической эволюцией ландшафтов (на примере Барабинской лесостепи) //

Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. М. : Наука, 1970. С. 61–73.

Куркин К. А. Системные исследования динамики лугов. М. : Наука, 1976. 284 с.

Куркин К. А. Фитоценоотипы и эколого-ценотические потенции луговых трав // Экология. 2002. № 1. С. 18–22.

Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов : докл. на IV ежегод. чтенях памяти акад. В. Н. Сукачева. М. : Наука, 1987. С. 5–27.

Ларин И. В. Луговое хозяйство и пастбищное хозяйство. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Колос, 1964. 516 с.

Лебедев П. В., Углов Н. П. Биология и агротехника лугопастбищных трав. Свердловск : Свердл. кн. изд-во, 1961. 171 с.

Левина Р. Е. Способы распространения плодов и семян. М. : Изд-во МГУ, 1957. 358 с.

Левит С. Я. Применение древесных опилок в качестве субстрата-улучшающего материала при рекультивации шламохранилищ // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1982. С. 75–80.

Левитский И. И. Ива и ее использование. М. : Лесная пром-сть, 1965. 97 с.

Лиханова И. А., Арчегова И. Б., Хабибуллина Ф. М. Восстановление лесных экосистем на техногенно нарушенных территориях Севера. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 104 с.

Логинова В. Г., Ивашкина Л. А. Микориза ивы // Микориза и другие формы консортивных связей в природе. Пермь : ПГПИ, 1985. С. 30–32.

Логинова В. Г., Селиванов И. А. Микотрофность растений в некоторых высокогорных растительных сообществах Гиссарского хребта // Микориза растений. Пермь : ПГПИ, 1975. С. 124–142.

Лукина Н. В. Особенности формирования флоры и растительности в условиях золоотвалов тепловых электростанций : автореф. дис. ... канд. биол. наук / ИЭРиЖ РАН. Екатеринбург, 2002. 17 с.

Лукина Н. В. Мониторинговые исследования на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС // Система управления экологической безопасностью : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2007. С. 343–347.

Лукина Н. В. Формирование растительности на золоотвалах Южноуральской ГРЭС // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку : матеріали Міжнар. наук. конф. (Донецьк, 24–26 вересня 2007 р.). Донецьк : Донецький бот. сад НАН України, 2007. С. 268–273.

Лукина Н. В., Глазырина М. А. Структурно-функциональная организация растительных сообществ, формирующихся на золоотвалах Среднего Урала // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (Оренбург, 24–27 мая 2006 г.). Оренбург : Принт-сервис, 2006. С. 130–133.

Лукина Н. В., Глазырина М. А., Филимонова Е. И. и др. Комплексные исследования формирования лесных фитоценозов на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС // Экологические системы: фундаментальные и прикладные исследования : сб. материалов II Всерос. науч.-практ. конф. (Нижний Тагил, 24–28 марта 2008 г.). Нижний Тагил : НТ гос. соц.-пед. акад., 2008. Ч. 2. С. 35–40.

Лукьянец А. И. Естественное возобновление древесных растений на железнодорожных отвалах открытых разработок Карпинско-Волчанского бурогоугольного бассейна (Свердловская область) // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1974. С. 138–157.

Лусникова А. А., Селиванов И. А. Влияние влажности почвы на микоризообразование сеянцев *Betula verrucosa* Ehrh и *Acer negundo* L. // Микориза и другие формы растительных консорциев. Пермь : ПГПИ, 1974. С. 48–51.

Любарский Е. Л., Полуянова В. И. Структура ценопопуляций вегетативно-подвижных растений. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1984. 139 с.

Мазинг В. В. К вопросу эволюции биоценологических систем // Тр. МОИП. 1970. Т. 38. С. 95–107.

Мазинг В. В. Что такое структура биогеоценоза // Проблемы биогеоценологии. М. : Наука, 1973. С. 148–157.

Марков М. В. Агрофитоценоз как основной объект изучения агрофитоценологии, науки об искусственных посевах растений // Материалы I Межвуз. науч. совещ. по вопр. агрофитоценологии. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1969. С. 3–15.

Марков М. В. Агрофитоценология. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1972. 272 с.

Марков М. В. Популяционная биология растений. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1986. 236 с.

Мартыненко В. А. Флористический состав кормовых угодий европейского Северо-Востока СССР. Л. : Наука, 1989. 136 с.

Махонина Г. И. Первичные стадии почвообразования на промышленных отвалах Урала // Освоение нарушенных земель. М. : Наука, 1976. С. 44–56.

Махонина Г. И. Начальные процессы почвообразования на отвалах Баженовского месторождения асбеста при их самозаращении // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1979. С. 82–101.

Махонина Г. И. Химический состав кормовых трав на рекультивированных отвалах Веселовско-Богословского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1985. С. 81–91.

Махонина Г. И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1987. 176 с.

Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.

Махонина Г. И., Чибрик Т. С. К характеристике начальных этапов почвообразования при естественном заращении отвалов Веселовского бурогольного месторождения // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1978. С. 72–83.

Махонина Г. И., Чибрик Т. С., Ужегова И. А. Процессы формирования почвенного и растительного покровов на отвалах Аккермановского железорудного месторождения (степная зона Зауралья) // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1976. С. 132–143.

Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии. М. : Наука, 1985. 137 с.

Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности : учебник. М. : Логос, 2000. 264 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология: принципы и методы. М. : Наука, 1978. 211 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Толковый словарь современной фитоценологии. М. : Наука, 1983. 134 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М. : Наука, 1989. 223 с.

Миropyчева-Токарева Н. П. Динамика растительности при заращении отвалов. Новосибирск : Наука, 1998. 169 с.

Мокроносов А. Т. Использование продуктов фотосинтеза в ростовых процессах // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М. : Наука, 1966. С. 157–162.

Моторина Л. В. Комплексность в рекультивации техногенных ландшафтов и терминологические аспекты проблемы // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М. : Наука, 1978. С. 22–33.

Мухин В. А., Веселкин Д. В. Эволюционное и экологическое значение микоризных ассоциаций // Учен. зап. Нижнетагильской гос. соц.-пед.

академии : материалы VI Всерос. популяционного семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии». Нижний Тагил : НТ гос. соц.-пед. акад., 2004. С. 86–94.

Наместников О. Ю. Микориза сосны сибирской хребта Басеги // Микориза и другие формы консортивных связей в природе. Пермь : ПГПИ, 1995. С. 11–16.

Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России. М. : РАН : Мин. природ. ресурсов РФ, 2001. 76 с.

Неверова Л. А. К вопросу о географическом и топографическом распространении ив Северного Прикаспия // Материалы по флоре и растительности Северного Прикаспия. Л., 1968. Вып. 3, ч. 1. С. 38–46.

Некоторые особенности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала / Г. М. Пикалова, Г. П. Серая, М. В. Пасынкова и др. // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1974. С. 69–96.

Никитин В. В. Сорные растения флоры СССР. Л. : Наука, 1985. 267 с.

Одум Ю. Основы экологии : пер. с англ. М. : Мир, 1975. 740 с.

Онтогенетический атлас лекарственных растений : в 4 т. Йошкар-Ола : МарГУ, 2004. Т. 4. 240 с.

Определитель сосудистых растений Среднего Урала / П. Л. Горчаковский, Е. А. Шурова, М. С. Князев и др. М. : Наука, 1994. 525 с.

Орхидеи нашей страны / М. Г. Вахрамеева, Л. В. Денисова, С. В. Никитина и др. М. : Наука, 1991. 224 с.

Панин П. С., Ковалев Р. В. Химические и водно-физические свойства золоотвалов Новосибирской ТЭЦ // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск : Наука, 1970. С. 99–116.

Панков Я. В., Андриющенко П. Ф. Лесная рекультивация техногенных земель КМА. Воронеж : ВГЛТА, 2003. 118 с.

Панков Я. В., Данько В. Н., Баранник Л. П. Лесная рекультивация нарушенных земель. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. 184 с.

Пасынкова М. В. Зола углей как субстрат для выращивания растений // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1974. С. 29–44.

Пикалова Г. М. Перспективные культуры для выращивания на золоотвале // Растительность и промышленные загрязнения: охрана природы на Урале. Свердловск : РИСО УФАН СССР, 1966. Вып. 5. С. 129–132.

Плошко Г. С., Чибрик Т. С. Опыт создания сеяных лугов на отвалах Богословского бурогольного разреза // Проблемы рекультивации земель СССР. Новосибирск : Наука, 1974. С. 180–183.

Погодные данные, 2009 [Электрон. ресурс]. URL: <http://pogoda.ru.net>.

Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ / под ред. О. Л. Воскресенской. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. 326 с.

Половова М. А., Шилова И. И. Некоторые морфолого-анатомические особенности многолетних злаков, выращенных на шламовом отвале Уральского алюминиевого завода // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1970. С. 161–173.

Понятовская В. М. Учет обилия и особенности видов в растительных сообществах // Полевая геоботаника : в 5 т. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 209–299.

Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, В. И. Бакланов и др. Киев : Наук. думка, 1980. 260 с.

Пугачев А. А., Техменев Е. А. Состояние, антропогенная трансформация и восстановление нарушенных почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока России. Магадан : СВГУ, 2008. 183 с.

Пьянков В. И., Рябцева Е. Ю., Чибрик Т. С. Использование методов мезоструктуры для изучения экологических ниш и типов стратегий растений промышленных отвалов // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1992. С. 27–52.

Работнов Т. А. Биологические наблюдения на субальпийских лугах Северного Кавказа // Ботан. журн. 1945. Т. 30, № 4. С. 167–177.

Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Тр. БИН АН СССР. Сер. 3, Геоботаника. 1950а. Вып. 6. С. 7–204.

Работнов Т. А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. 1950б. Вып. 1. С. 465–483.

Работнов Т. А. Определение возрастного состава популяций видов в сообществе // Полевая геоботаника : в 5 т. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 132–145.

Работнов Т. А. Фитоценология : учеб. пособие для биол. спец. ун-тов. М. : Изд-во МГУ, 1978. 384 с.

Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М. : Сельхозгиз, 1938. 620 с.

Раменский Л. Г., Цаценкин Л. Г., Чижиков О. Н. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М. : Сельхозгиз, 1956. 472 с.

Рекультивация земель, нарушенных промышленностью на Урале и в нефтедобывающих районах Западной Сибири / А. И. Лукьянец, И. И. Шилова, М. Н. Прокопьев и др. // Рациональное использование лесов Урала и сохранение их средообразующей роли : тез. докл. науч.-техн. конф. (Свердловск, 12–13 окт. 1976 г.). Свердловск, 1976. С. 70–72.

Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск : Высш. шк., 1964. 259 с.

Романова О. Ю., Ведерникова О. П. Возрастная структура ценопопуляций грушанки круглолистной в природных сообществах НП «Марий Чодра» // Принципы и способы сохранения биоразнообразия : материалы I Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2004. С. 237–239.

Рундквист Н. А., Задорина О. В. Свердловская область. Иллюстрированная краеведческая энциклопедия. Екатеринбург : Квист, 2009. 456 с.

Селиванов И. А. Материалы к познанию физиологии и экологии микотрофного способа питания растений // Вопросы ботаники, экологии и физиологии растений. Пермь : ПГПИ, 1975. С. 3–32.

Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М. : Наука, 1981. 232 с.

Селиванов И. А., Утемова Л. Д. Материалы к характеристике микориз злаков // Учен. зап. Перм. гос. пед. ин-та. 1968. Т. 64 : Вопросы биологии и экологии доминантов и эдификаторов растительных сообществ : материалы I Межвуз. конф. по биологии и экологии доминантов и эдификаторов естественных и искусственных фитоценозов. С. 302–309.

Селиванов И. А., Шавкунова И. Ф. Микотрофность растений во флоре и в растительном покрове горы Ирмель // Микориза растений. Пермь : ПГПИ, 1973. С. 72–93.

Серая Г. П. Структура и жизненность ценопопуляций лебеды лоснящейся, произрастающей на золоотвале СУГРЭС // Почвообразование в антропогенных условиях. Свердловск : УрГУ, 1981. С. 40–46.

Серая Г. П., Комов С. В. К вопросу об участии цветковых растений в начальном освоении и преобразовании зольного субстрата // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1974. Вып. 3. С. 97–108.

Серая Г. П., Чибрик Т. С. Сравнительная характеристика экспериментальных посевов многолетних трав в условиях Коркинского района // Рекультивация земель в СССР : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. (Москва, окт. 1982 г.) : в 2 т. М., 1982. Т. 2. С. 98–100.

Серая Г. П., Чибрик Т. С. Особенности структуры и жизненность ценопопуляций многолетних злаков в экспериментальных посевах (Коркинский угольный разрез) // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1984. С. 30–38.

Серая Г. П., Чибрик Т. С. Жизненность ценопопуляций многолетних трав в зависимости от условий выращивания // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1985. С. 5–25.

Серая Г. П., Шубин Ф. М. Особенности роста и развития пионерных растений при выращивании их на каменноугольной золе // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1976. С. 56–62.

Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. М. : Высш. шк., 1962. 378 с.

Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника : в 5 т. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 146–205.

Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М. : Изд-во «Колос», 1964. 280 с.

Стефанович Г. С., Киришин И. К., Касимов Р. А. Фотопериодическая реакция некоторых зимующих травянистых растений // Онтогенез травянистых поликарпических растений. Свердловск : УрГУ, 1976. С. 76–83.

Стрельникова Т. О., Манаков Ю. А. Редкие и исчезающие виды растений Кемеровской области в условиях техногенного ландшафта // Флора и растительность антропогенно нарушенных территорий : сб. науч. тр. Кемеровского отд-ния РБО / под ред. А. Н. Куприянова. Кемерово : Ирбис, 2010. Вып. 6. С. 174–175.

Сукачев В. Н. Главнейшие понятия из учения о растительном покрове // Растительность СССР. М. ; Л. : Наука, 1938. Т. 1. С. 15–37.

Сукачев В. Н. О некоторых основных вопросах фитоценологии // Проблемы ботаники. 1950. Т. 1. С. 449–464.

Сукачев В. Н. О позднелетних экотипах ив // Докл. АН СССР. 1953. Т. 92, № 3. С. 675–678.

Тарчевский В. В. Биологические методы консервации золоотвалов тепловых электростанций Урала // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. каф. ботаники. Свердловск : УрГУ, 1964. С. 70–115.

Тарчевский В. В. Формирование первичного фитоценоза на каменноугольной золе, покрытой слоем почвы // Растительность и промышленные загрязнения: охрана природы на Урале. Свердловск : УрФ АН СССР, 1966. Вып. 5. С. 123–127.

Тарчевский В. В. Классификация промышленных отвалов и их освоение // Растительность и промышленные загрязнения: охрана природы на Урале. Свердловск : УрФ АН СССР, 1970. Вып. 7. С. 84–89.

Тарчевский В. В., Зайцева Л. К. Особенности развития растений на асбестовых отвалах // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1964. С. 198–206.

Таришис Л. Г. Внутривидовая изменчивость и экология грушанковых Урала // Флора и внутривидовая изменчивость растений Урала : сб. науч. тр. Свердловск : Свердл. пед. ин-т, 1985. С. 51–57.

Таршис Л. Г. Внутривидовая изменчивость представителей семейства Ругоlaceae Dum. на Урале : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Свердлов. гос. пед. ин-т. Свердловск, 1990а. 17 с.

Таршис Л. Г. Особенности роста побегов зимолюбки зонтичной на Урале // Рост и продуктивность травянистых растений : сб. науч. тр. Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1990б. С. 127–133.

Таршис Л. Г. Морфолого-анатомические особенности подземных органов некоторых видов цветковых растений в связи с их адаптацией к экологическим условиям // Экология. 2005а. № 2. С. 97–105.

Таршис Л. Г. Об изменчивости морфологических и анатомических признаков у видов подсемейства Ругоlaceae (Ericaceae) на Урале // Ботан. журн. 2005б. № 8. С. 1197–1208.

Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. Я. Краткий очерк теории эволюции. 2-е изд. М. : Наука, 1969. 408 с.

Томилова Л. И., Мезрин А. К. Сезонное развитие некоторых эндемиков Урала при интродукции в ботаническом саду Уральского университета // Онтогенез травянистых поликарпических растений. Свердловск : УрГУ, 1976. С. 60–66.

Третьякова А. С., Глазырина М. А. Структура и жизнеспособность ценопопуляции костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub) в условиях Коркинского угольного разреза // Механизмы поддержания биологического разнообразия : материалы конф. Екатеринбург : Изд-во «Екатеринбург», 1995. С. 159–161.

Туганаев В. В., Пузырев А. Н. Гемерофиты Вятско-Камского междуречья. Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1988. 128 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 327 с.

Уранов А. А. Жизненное состояние вида в растительном сообществе // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1960. Т. 67, вып. 3. С. 77–92.

Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.

Уранов А. А. К вопросу изучения структуры фитоценозов и видовых ценопопуляций // Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения). М. : Наука, 1977. С. 8–20.

Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 762 с.

Филимонова Е. И. Экологические основы формирования и динамики фитоценозов на полигонах при добыче россыпного золота : дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2005. 220 с.

Филимонова Е. И. К проблеме оптимизации ландшафтов отработанных золотых россыпей // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 14 апр. 2006 г.). Омск : Изд. дом «Наука», 2006. С. 232–235.

Филимонова Е. И., Уманова Е. Н., Рябухин Э. А. Начальные этапы формирования растительности на гидроотвалах Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота // Биологическая рекультивация нарушенных земель : материалы Междунар. совещ. (Екатеринбург, 26–29 авг. 1996 г.). Екатеринбург : УрО РАН, 1997. С. 238–247.

Фирсова В. П., Кулай Г. А. Физико-химические и микробиологические свойства золы отвалов тепловых электростанций Свердловской области // Растительность и промышленные загрязнения: охрана природы на Урале. Свердловск : УрФ АН СССР, 1966. Вып. 5. С. 69–73.

Флора северо-востока европейской части СССР : в 4 т. / под ред. А. И. Толмачева. Л. : Наука, 1974. Т. 1. 275 с.

Флора СССР : в 30 т. / под общ. ред. В. Л. Комарова. М. ; Л. : Наука, 1934–1960.

Флора Центральной Сибири / под ред. Л. И. Малышева, Г. А. Пешковой. Новосибирск : Наука, 1979. Т. 1. 536 с.

Фурсаев Л. Д., Хохлов С. С. Обоснование понятия «агрофитоценоз» // Тр. науч. конф. Сарат. ун-та. Секция биол. наук. Саратов, 1947. С. 5–7.

Хамидулина М. В. Особенности роста и развития многолетних растений на плотных золоотвалах // Растения и промышленная среда : сб. науч. работ каф. ботаники. Свердловск : УрГУ, 1964а. С. 134–145.

Хамидулина М. В. Биология развития злаковых трав на шлаконаливном поле Нижнетуринской ГРЭС // Охрана природы на Урале: растительность и промышленные загрязнения. Свердловск : УрГУ, 1964б. Вып. 4. С. 135–144.

Хамидулина М. В. Ликвидация водной и ветровой эрозии на золоотвале Южно-Кузбасской ГРЭС // Защита и рациональное использование почв Сибири : материалы семинара молодых ученых Сибири по рац. использованию и охране природных ресурсов (Красноярск, 2–4 марта 1970 г.). Красноярск, 1970. С. 147–151.

Хохлов С. С. Центры происхождения или географические фокусы видообразования // Ботан. журн. 1947. Т. 32, № 1. С. 33–41.

Цвелев Н. Н. Злаки СССР. Л. : Наука, 1976. 788 с.

Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / под ред. А. А. Уранова, Т. И. Серебряковой. М. : Наука, 1976. 217 с.

Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения) / под ред. Т. И. Серебряковой. М. : Наука, 1977. 131 с.

Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л. Б. Заугольнова, Л. А. Жукова, А. С. Комаров и др. М. : Наука, 1988. 220 с.

Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М. : Наука, 1983. 197 с.

Чайкина Г. М., Обьедкова В. А. Рекультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала. Екатеринбург : УрО РАН, 2003. 266 с.

Часовенная А. А. Основы агрофитоценологии. Л. : ЛГУ, 1975. 188 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) [Рус. изд.]. СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.

Чибрик Т. С. Опыт рекультивации породных отвалов открытых угольных разработок Карпинско-Волчанского бассейна // Проблемы создания защитных насаждений в условиях техногенных ландшафтов : тр. ИЭРиЖ. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1979. Вып. 129. С. 110–118.

Чибрик Т. С. Основы биологической рекультивации : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2002. 172 с.

Чибрик Т. С. К вопросу о биологической рекультивации нарушенных земель угольных месторождений Урала // Биологическая рекультивация нарушенных земель : материалы Междунар. совещ. (Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г.). Екатеринбург : УрО РАН, 2003. С. 542–557.

Чибрик Т. С. Проблема биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель и ее значение в подготовке специалистов-экологов // Мы постигаем логику живого... : 60 лет биологическому факультету Урал. гос. ун-та им. А. М. Горького. Екатеринбург, 2004. С. 196–207.

Чибрик Т. С. Исследования по проблеме биологической рекультивации нарушенных земель в Уральском университете : к 100-летию со дня рождения В. В. Тарчевского // Изв. Урал. гос. ун-та. 2005. № 37 : Проблемы образования, науки и культуры. Вып. 18. С. 92–100.

Чибрик Т. С., Глазырина М. А., Филимонова Е. И. и др. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель [Электрон. ресурс] / Федер. агентство по образованию ; Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького ; ИОНЦ «Экология и природопользование». Электрон. дан. (8 Мб). Екатеринбург : [б. и.], 2008. URL: <http://elar.usu.ru/handle/1234.56789/1592>.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование растительных сообществ на отвалах Коркинского угольного разреза // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск : УрО АН СССР, 1990. С. 58–66.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1991. 220 с.

Чибрик Т. С., Кравченко Н. В. Флора и растительность золоотвалов в зависимости от зонально-климатических условий // Растения и промышленная среда. Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1990. С. 8–22.

Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2004. 160 с.

Чибрик Т. С., Нагибина Т. И., Рябкова Т. Е. О микотрофности растений на отвалах угольных разработок Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1980. С. 33–79.

Чибрик Т. С., Филимонова Е. И., Лукина Н. В. и др. Редкие виды орхидных на техногенных объектах Урала // Биологическое разнообразие. Интродукция растений : материалы Четвертой Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 5–8 июня 2007 г.). СПб. : Ботан. сад. Ботан. ин-та им. В. Л. Комарова РАН, 2007. С. 185–186.

Чибрик Т. С., Филимонова Е. И., Лукина Н. В. и др. Агрохимическая характеристика золоотвала № 1 Богословской ТЭЦ // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Нижний Тагил, 1–5 марта 2010 г.). Нижний Тагил : НТ гос. соц.-пед. акад., 2010. Ч. 2. С. 363–368.

Шемаханова Н. М. Микотрофия древесных пород. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 368 с.

Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. 447 с.

Шилова И. И. Корневые системы многолетних злаковых растений в условиях шламового отвала Уральского алюминиевого завода // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1970. С. 129–152.

Шкараба Е. М. Развитие микоризы в ходе онтогенеза кислицы обыкновенной (*Oxalis acetosella* L.) // Микориза и другие формы консортивных связей в природе : межвуз. сб. науч. тр. Пермь : ПГПИ, 1983. С. 24–28.

Экологические основы восстановления экосистем на Севере / под ред. И. Б. Арчеговой. Екатеринбург : УрО РАН, 2006. 77 с.

Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина и др. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 356 с.

Экологические основы оптимизированной технологии восстановления нефтезагрязненных природных объектов на Севере / под ред.

А. И. Таскаева, И. Б. Арчевой. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2007. 140 с.

Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере / И. Б. Арчева, Е. Г. Кузнецова, И. А. Лиханова и др. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2009. 176 с.

Юрцев Б. А. Флора Сунтар-Хаята: проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л. : Наука, 1968. 235 с.

Юрцев Б. А. Некоторые тенденции развития метода конкретных флор // Ботан. журн. 1975. Т. 60, № 1. С. 69–83.

Юрцев Б. А. Флора как природная система // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1982. Т. 87, вып. 4. С. 3–22.

Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // Ботан. журн. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706–1718.

Batousek A. *Epipactis helleborine* a *E. palustris* na sekundárním stanovišti v okrese Gottwaldov // Zpr. Cs. Bot. Spolec. 1985. No. 20. P. 234–236.

Brunton D. The *Epipactis helleborine* (Orchidaceae) in Northern Ontario // Can. Field. Natur. 1986. Vol. 100. No. 1. P. 127–130.

Catling P. M. Autogamy in Eastern Canadian Orchidaceae a review of current knowledge and some new observations // Natur. 1983. Vol. 110. No. 1. P. 37–53.

Ellenberg H., Weber H. E., Düll R. et al. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa // Scripta Geobot. 1991. No. 18. 248 p.

Holliday R., Townsend W., Hodson D. Plant growth on «fly ash» // Nature. 1955. No. 4490. P. 48.

Jayachandran K., Schwab A. P., Hetrick B. A. D. Mineralization of organic phosphorus by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi // Soil Biol. and Biochem. 1992. No. 24. P. 897–903.

Lee J. A., Greenwood B. The colonization by plants of calcareous wastes from the salt and alkali industry in Cheshire // Biol. Conserv. 1976. No. 10. P. 77–78.

Molecular physiology of mineral nutrient acquisition, transport and utilization / L. V. Kochian, B. B. Buchanan, W. Gruissem et al. // Biochemistry and molecular biology of plants. Amer. Soc. Plant Physiol., Rockville, Maryland, 2000. P. 1204–1249.

Mosquin Th. Evolutionary aspects of endemism // Nat. Canad. 1971. Vol. 98. No. 2.

Rees W. J., Sidrak G. H. Plant growth on «fly ash» // Nature. 1955. No. 4477. P. 176.

Schuepp H., Dehn B., Sticher H. Interaktionen zwischen VA-Mykorrhizen und Schwermetallbelastungen // *Angew. Bot.* 1987. Bd. 61. H. 1–2. S. 85–96.

Wood J. Plant fungus keeps its host in good health // *New Sci.* 1990. Vol. 172. No. 1709. P. 27.

Приложение

Список видов древесных и травянистых растений, упомянутых в тексте

<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	Пихта сибирская
<i>Acer negundo</i> L.	Клен ясенелистный
<i>Achillea millefolium</i> L.	Тысячелистник обыкновенный
<i>Achillea nobilis</i> L.	Тысячелистник благородный
<i>Adenophora lilifolia</i> (L.) A. DC.	Бубенчик лилиственный
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	Сныть обыкновенная
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Beauv.	Житняк гребенчатый
<i>Agrostis canina</i> L.	Полевица собачья
<i>Agrostis gigantea</i> Roth	Полевица гигантская
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	Полевица тонкая
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	Ольха серая
<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.	Лисохвост равный
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	Лисохвост луговой
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.	Ирга овальная
<i>Amoria hybrida</i> (L.) C. Presl	Клевер гибридный
<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl	Клевер ползучий
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Дудник лесной
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gacrtn.	Кошачья лапка
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	Песчанка тимьянолистная
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Полынь горькая
<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.	Полынь австрийская
<i>Artemisia campestris</i> L.	Полынь полевая
<i>Artemisia dracunculus</i> L.	Полынь эстрагон
<i>Artemisia sericea</i> Web.	Полынь шелковистая
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Полынь обыкновенная
<i>Astragalus sulcatus</i> L.	Астрагал бороздчатый
<i>Atriplex sagittata</i> Borkh.	Лебеда стреловидная
<i>Avena fatua</i> L.	Овес пустой, овсюг
<i>Avena sativa</i> L.	Овес посевной
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	Икотник серый
<i>Betula pendula</i> Roth	Береза повислая

<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Береза пушистая
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	Клубникамыш морской
<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	Кострец безостый
<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) Johnst.	Буглосойдес полевой
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	Вейник тростниковый
<i>Calamagrostis canescens</i> (Web.) Roth	Вейник седеющий
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	Вейник наземный
<i>Calamagrostis phragmitoides</i> C. Hartm.	Вейник тростниковидный
<i>Campanula rapunculoides</i> L.	Колокольчик рапунцеливидный
<i>Carduus crispus</i> L.	Чертополох курчавый
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir.	Осока буроватая
<i>Carex cespitosa</i> L.	Осока дернистая
<i>Carex cinerea</i> Poll.	Осока пепельно-серая
<i>Carex pediformis</i> C. A. Mey.	Осока стоповидная
<i>Carex vesicaria</i> L.	Осока пузырчатая
<i>Carum carvi</i> L.	Тмин обыкновенный
<i>Cerastium igoschiniae</i> Pobed.	Ясколка Игошиной
<i>Cerastium krylovii</i> Schischk. & Gorczak.	Ясколка Крылова
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Wołoszcz.) Klásková	Ракитник русский
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	Иван-чай узколистный
<i>Chenopodium album</i> L.	Марь белая
<i>Chenopodium rubrum</i> L.	Марь красная
<i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton	Зимолоубка зонтичная
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess.	Бодяк щетинистый
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	Мелколпестник канадский
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Вьюнок полевой
<i>Crepis tectorum</i> L.	Скерда кровельная
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Ежа сборная
<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soó	Пальчатокоренник Фукса
<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soó	Пальчатокоренник мясокрасный
<i>Dactylorhiza x kerneriorum</i> (Soó) Soó	Пальчатокоренник Кернсера
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	Щучка дернистая
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	Дескурайния Софии
<i>Dianthus acicularis</i> Fisch. ex Ledeb.	Гвоздика иглолистная
<i>Dianthus uralensis</i> Korsh.	Гвоздика уральская
<i>Echium vulgare</i> L.	Синяк обыкновенный
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Лох узколистный
<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	Пырейник собачий
<i>Elymus fibrosus</i> (Schrenk) Tzvel.	Пырейник волокнистый
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	Пырей ползучий
<i>Empetrum nigrum</i> L.	Водяника черная
<i>Epipactis atrorubens</i> (Hoffm. ex Bernh.) Bess.	Дремлик темно-красный
<i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz	Дремлик широколистный

<i>Erigeron acris</i> L.	Мелколепестник едкий
<i>Erucastrum armoracioides</i> (Czern. ex Turcz.) Cruchet	Рогачка хрсновидная
<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	Желтушник левкойный
<i>Equisetum arvense</i> L.	Хвощ полевой
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	Хвощ лесной
<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.	Молочай лозный
<i>Euphrasia brevipila</i> Burm. & Gremli	Очанка коротковолосистая
<i>Euphrasia pectinata</i> Ten.	Очанка гребенчатая
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	Таволга вязолистная
<i>Fragaria vesca</i> L.	Земляника лесная
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Овсяница тростниковидная
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	Овсяница луговая
<i>Festuca pseudovina</i> Hack. ex Wiesb.	Овсяница ложноовечья
<i>Festuca rubra</i> L.	Овсяница красная
<i>Galium album</i> Mill.	Подмаренник белый
<i>Galium boreale</i> L.	Подмаренник северный
<i>Galium mollugo</i> L.	Подмаренник мягкий
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	Герань лесная
<i>Geum urbanum</i> L.	Гравилат городской
<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R. Br.	Кокушник длиннорогий
<i>Gypsophila uralensis</i> Less.	Качим уральский
<i>Hieracium caespitosum</i> Dumort.	Ястребинка дернистая
<i>Hieracium cymosum</i> L.	Ястребинка зонтиконосная
<i>Hieracium pilosella</i> L.	Ястребинка волосистая
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	Ястребинка зонтичная
<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.	Облепиха крушиновидная
<i>Hordeum jubatum</i> L.	Ячмень гривастый
<i>Inula salicina</i> L.	Девясил иволистный
<i>Juncus compressus</i> Jacq.	Ситник сплюснутый
<i>Juniperus communis</i> L.	Можжевельник обыкновенный
<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.	Короставник полевой
<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.	Кохия веничная
<i>Lactuca tatarica</i> (L.) C. A. Mey.	Латук татарский
<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	Липучка обыкновенная
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	Лиственница сибирская
<i>Lathyrus pisiformis</i> L.	Чина гороховидная
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Чина луговая
<i>Lathyrus sylvestris</i> L.	Чина лесная
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	Чина весенняя
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	Кульбаба осенняя
<i>Lepidium rudemale</i> L.	Клоповник мусорный
<i>Lepidothea suaveolens</i> (Pursh) Nutt.	Лепидотека ароматная, ромашка пахучая

<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	Нивяник обыкновенный
<i>Linaria vulgaris</i> L.	Льнянка обыкновенная
<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.	Тайник овальный
<i>Lonicera xylosteum</i> L.	Жимолость обыкновенная
<i>Luzula multiflora</i> (Ehrh.) Lej.	Ожика многоцветковая
<i>Malaxis monophyllos</i> (L.) Sw.	Мякотница однолистная
<i>Medicago lupulina</i> L.	Люцерна хмелевидная
<i>Medicago media</i> Pers.	Люцерна пестрогибридная
<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke	Дрема белая
<i>Melica nutans</i> L.	Перловник поникший
<i>Melilotus albus</i> Medik.	Донник белый
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Донник лекарственный
<i>Minuartia helmii</i> (Fisch. ex Ser.) Schischk.	Мокричник Гельма
<i>Minuartia krascheninnikovii</i> Schischk.	Мокричник Крашенинникова
<i>Moneses uniflora</i> (L.) A. Gray	Одноцветка крупноцветковая
<i>Oberna behen</i> (L.) Ikonn.	Смолевка обыкновенная, хлопущка
<i>Odontites vulgaris</i> Moench	Зубчатка обыкновенная
<i>Onobrychis arenaria</i> (Kit.) DC.	Эспарцет песчаный
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	Ортилия однобокая
<i>Padus avium</i> Mill.	Черемуха обыкновенная
<i>Pastinaca sylvestris</i> Mill.	Пастернак лесной
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach	Горец перечный
<i>Phleum pratense</i> L.	Тимофеевка луговая
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Тростник обыкновенный
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	Ель сибирская
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.	Бедренци камнеломковый
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	Сосна сибирская
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Сосна обыкновенная
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Подорожник ланцетолистный
<i>Plantago major</i> L.	Подорожник большой
<i>Plantago maxima</i> Juss. ex Jacq.	Подорожник наибольший
<i>Plantago media</i> L.	Подорожник средний
<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	Любка двулистная
<i>Poa angustifolia</i> L.	Мятлик узколистный
<i>Poa palustris</i> L.	Мятлик болотный
<i>Poa pratensis</i> L.	Мятлик луговой
<i>Poa trivialis</i> L.	Мятлик обыкновенный
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Горец птичий
<i>Populus alba</i> L.	Тополь белый
<i>Populus balsamifera</i> L.	Тополь бальзамический
<i>Populus nigra</i> L.	Тополь черный
<i>Populus suaveolens</i> Fisch.	Тополь душистый

<i>Populus tremula</i> L.	Тополь дрожащий, осина
<i>Potentilla anserina</i> L.	Лапчатка гусиная
<i>Potentilla bifurca</i> L.	Лапчатка вильчатая
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Racusch.	Лапчатка прямостоячая
<i>Potentilla impolita</i> Wahlenb.	Лапчатка неблестящая
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Черноголовка обыкновенная
<i>Puccinellia distans</i> (Jacq.) Parl.	Бескильница расставленная
<i>Puccinellia hauptiana</i> V. Krecz.	Бескильница Гаупта
<i>Pyrola chlorantha</i> Sw.	Грушанка зеленоцветковая
<i>Pyrola media</i> Sw.	Грушанка средняя
<i>Pyrola minor</i> L.	Грушанка малая
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	Грушанка круглолистная
<i>Ranunculus acris</i> L.	Лютик едкий
<i>Ribes</i> sp.	Смородина
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	Роза иголистная
<i>Rubus arcticus</i> L.	Княженика
<i>Rubus idaeus</i> L.	Малина обыкновенная
<i>Rubus saxatilis</i> L.	Костяника обыкновенная
<i>Rumex acetosella</i> L.	Щавель малый
<i>Rumex confertus</i> Willd.	Щавель конский
<i>Rumex crispus</i> L.	Щавель курчавый
<i>Salix caprea</i> L.	Ива козья
<i>Salix cinerea</i> L.	Ива серая
<i>Salix dasyclados</i> Wimm.	Ива шерстистопобеговая
<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	Ива чернеющая
<i>Salix phylicifolia</i> L.	Ива филиколистная
<i>Salix pentandra</i> L.	Ива пятичлениковая
<i>Salix rosmarinifolia</i> L.	Ива розмаринолистная
<i>Salix triandra</i> L.	Ива трехчлениковая
<i>Salix viminalis</i> L.	Ива прутьевидная
<i>Salsola collina</i> Pall.	Солянка холмовая
<i>Saussurea amara</i> (L.) DC.	Соссюрея горькая
<i>Silene nutans</i> L.	Смолевка поникающая
<i>Solidago virgaurea</i> L.	Золотарник обыкновенный
<i>Sonchus arvensis</i> L.	Осот полевой
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Рябина обыкновенная
<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	Рябина сибирская
<i>Stellaria graminea</i> L.	Звездчатка злаковая
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Звездчатка средняя
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	Пижма обыкновенная
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	Одуванчик лекарственный
<i>Thalictrum simplex</i> L.	Василистник простой
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Липа сердцевидная

<i>Trifolium medium</i> L.	Клевер средний
<i>Trifolium pratense</i> L.	Клевер луговой
<i>Triglochin palustre</i> L.	Триостренник болотный
<i>Turritis glabra</i> L.	Башенница гладкая
<i>Tussilago farfara</i> L.	Мать-и-мачеха обыкновенная
<i>Typha angustifolia</i> L.	Рогоз узколистный
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Черника
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	Брусника
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	Вероника дубравная
<i>Viburnum opulus</i> L.	Калина обыкновенная
<i>Vicia cracca</i> L.	Горошек мышиный
<i>Vicia sepium</i> L.	Горошек заборный
<i>Vicia sylvatica</i> L.	Горошек лесной
<i>Viola canina</i> L.	Фиалка собачья
<i>Viola persicifolia</i> Schreb.	Фиалка персиколистная

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Обобщенная характеристика рекультивированных промышленных отвалов.....	7
1.1. Отвалы горнодобывающей промышленности.....	7
Характеристика состояния растительного покрова и его трансформация на старых Турьинских и Северном Веселовском отвалах (отвалы угольных месторождений).....	7
Временная трансформация экспериментальных культурфитоценозов на гидроотвалах Шуралино-Ягодного россыпного месторождения золота	26
1.2. Отвалы перерабатывающей промышленности: золоотвалы тепловых электростанций	47
Опыт рекультивации золоотвалов на Урале	47
Золоотвал Среднеуральской государственной районной электростанции	51
Золоотвал Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС)	58
Золоотвал Южноуральской государственной районной электростанции (ЮУГРЭС)	62
1.3. Характеристика экспериментальных посевов Коркинского угольного разреза.....	65
1.4. Сравнительный анализ опыта биологической рекультивации исследованных рекультивированных отвалов	83
2. Структурно-динамическая и функциональная организация сериальных фитоценозов, возникших в процессе самозарастания	89
2.1. Краткая характеристика изученных техногенных объектов	89
2.2. Восстановление видового разнообразия фитоценозов на промышленных отвалах Урала	99

2.3. Структура ценопопуляций видов-доминантов травянистых растительных сообществ	121
Сравнительная характеристика ценопопуляций <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth в техногенных ландшафтах.....	121
Структура ценопопуляций <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth на золоотвале СУГРЭС.....	129
Структура ценопопуляций <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv на золоотвале ВТГРЭС	132
Возрастная структура и жизненность ценопопуляций <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv на Галкинском отвале мраморизированного известняка	143
Характеристика ценопопуляций и особенности микоризообразования <i>Erigeron acris</i> L. на техногенных субстратах	146
2.4. Структурно-динамическая организация лесных фитоценозов.....	153
2.5. Редкие и исчезающие виды на промышленных отвалах	189
Структура интродуцированной ценопопуляции <i>Dianthus acicularis</i> Fisch. ex Ledeb. в Коркинском угольном карьере...	189
Редкие виды орхидных на техногенных объектах Урала	196
3. Динамика фитоценозов техногенных ландшафтов Урала	204
4. Некоторые особенности микоризообразования на техногенных субстратах	216
Изучение микоризы травянистых видов на отвале Баженовского месторождения асбеста.....	220
Изучение микоризообразования на террикониках угольных шахт Урала.....	223
Изучение микоризы на золоотвале СУГРЭС	226
Изучение эктомикоризы	228
Заключение.....	236
Список использованных источников.....	239
Приложение. Список видов древесных и травянистых растений, упомянутых в тексте	260

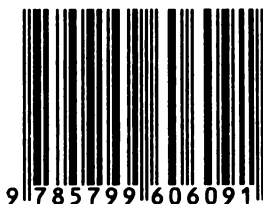
Научное издание

**Чибрик Тамара Семёновна
Лукина Наталия Валентиновна
Филимонова Елена Ивановна
Глазырина Маргарита Александровна**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И ОПЫТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ
НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ**

Редактор *С. Г. Галинова*
Компьютерная верстка *Н. Ю. Михайлов*
Ответственный за выпуск *И. С. Малечко*

ISBN 978-5-7996-0609-1



Подписано в печать 10.05.2011. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Уч.-изд. л. 17,0. Тираж 300 экз. Заказ № 634.

Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург, пр. Леснина, 51
Отпечатано в типографии ИПЦ «Издательство УрГУ»
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
E-mail: press.info@usu.ru